ELIZABETH KOLBERT



# LA SEXTA EXTINCIÓN

UNA HISTORIA NADA NATURAL

CRÍTICA

Índice

*Si la trayectoria humana encierra algún peligro, no es tanto en la supervivencia de nuestra propia especie como en dar cumplimiento a la ironía última de la evolución orgánica: que en el momento de alcanzar la comprensión de sí misma a través de la mente humana, la vida haya condenado sus más bellas creaciones.*

E. O. WILSON

*Siglos de siglos y sólo en el presente ocurren los hechos.*

JORGE LUIS BORGES

# Prólogo

*Suele decirse que los inicios se pierden en la oscuridad, y así ocurre con esta historia, que comienza con la aparición de una nueva especie hace tal vez doscientos mil años. Todavía no tiene nombre —nada lo tiene—, y sin embargo posee la capacidad de nombrar las cosas.*

*Como pasa con todas las especies jóvenes, su situación es precaria. Cuenta con pocos individuos y su área de distribución está restringida a una sección del África oriental. Poco a poco su población crece, pero posiblemente se contraiga de nuevo, hay quien dice que casi fatalmente, hasta quedarse en unos pocos miles de parejas.*

*Los miembros de esta especie no son especialmente rápidos ni fuertes ni fecundos. Son, sin embargo, singularmente ingeniosos. De manera gradual pueblan regiones con distintos climas, distintos depredadores y distintas presas. Ninguna de las restricciones usuales de hábitat o geografía parece ponerles freno. Cruzan ríos, mesetas, cadenas montañosas. En las regiones costeras recogen mariscos; más al interior, cazan mamíferos. Dondequiera que se establecen, innovan y se adaptan. Cuando llegan a Europa, se encuentran con criaturas muy parecidas a ellos, aunque de cuerpo más robusto y probablemente más fornido, que ya llevan mucho tiempo viviendo en el continente. Con algunos tienen descendencia, pero al final, de una forma u otra, acaban matándolos a todos.*

*El resultado de este encuentro resulta ser arquetípico. A medida que la especie amplía su área de distribución, se cruza en su camino con animales de un tamaño dos, diez y hasta veinte veces mayor que el suyo: grandes felinos, osos gigantescos, tortugas grandes como elefantes, perezosos que se alzan hasta cuatro metros y medio. Estas especies son más fuertes y a menudo también más feroces. Pero se reproducen lentamente y acaban siendo eliminadas.*

*Aunque animal terrestre, nuestra especie, nunca falta de ingenio, cruza los mares y arriba a islas habitadas por los casos más atípicos de la evolución: aves que ponen huevos de hasta treinta centímetros de largo, hipopótamos del tamaño de cerdos, eslizones gigantes. Acostumbrados al aislamiento, estos animales están mal dotados para enfrentarse a los recién llegados o a sus compañeros de viaje (sobre todo ratas). Muchos de ellos también sucumben.*

*El proceso prosigue, a rachas, durante miles de años, hasta que la especie, que ya no es tan nueva, ha llegado prácticamente a todos los rincones del planeta. En este momento se producen más o menos a un tiempo varias cosas que permiten que* Homo sapiens*, que es el nombre que se ha dado a sí misma, comience a multiplicarse a un ritmo vertiginoso. En un sólo siglo duplica su población; luego otra vez, y otra. Grandes extensiones de bosque acaban arrasadas. Los humanos lo hacen deliberadamente, para poder alimentarse. De forma menos deliberada, transportan organismos de un continente a otro, recomponiendo la biosfera.*

*Entretanto, comienza a producirse una transformación aún más extraña y radical. Tras descubrir reservas subterráneas de energía, los humanos comienzan a cambiar la composición de la atmósfera. Esto, a su vez, altera el clima y la química de los océanos. Algunas plantas y*

*animales responden desplazándose: ascienden montañas y migran hacia los polos. Pero muchas, al principio centenares, luego millares, luego tal vez millones, se encuentran atrapadas. Las tasas de extinción se disparan y el mosaico de la vida se ve modificado.*

*Nunca antes una especie había alterado de este modo la vida sobre el planeta; sin embargo, ya se habían producido otros acontecimientos comparables. De forma muy, muy ocasional, en el pasado remoto, el planeta había sufrido cambios brutales que diezmaron la diversidad de la vida. Cinco de estas extinciones del pasado fueron tan catastróficas que constituyen una categoría aparte, las Cinco Grandes. En lo que parece una prodigiosa coincidencia, pero probablemente no sea coincidencia en absoluto, estamos desvelando la historia de aquellas extinciones al mismo tiempo que empezamos a comprender que estamos causando una nueva. Cuando todavía es demasiado pronto para decir si alcanzará las proporciones de las Cinco Grandes, ya la conocemos como la Sexta Extinción.*

*La historia de la Sexta Extinción, al menos tal como he decidido contarla, viene en trece capítulos. Cada uno de ellos le sigue la pista a una especie de algún modo emblemática, como el mastodonte americano, el alca gigante o un amonites que desapareció al final del Cretácico junto a los dinosaurios. Las especies de los primeros capítulos ya se han extinguido, y esta parte del libro se ocupa sobre todo de las grandes extinciones del pasado y de la retorcida historia de su descubrimiento, comenzando por los trabajos del naturalista francés Georges Cuvier. La segunda parte del libro tiene lugar plenamente en el presente: en la cada vez más fragmentada selva amazónica, en las pendientes cada vez más cálidas de los Andes, en los márgenes del arrecife de*

*la Gran Barrera. Me decidí por estos lugares concretos por las habituales razones periodísticas: porque allí había un centro de investigación o porque alguien me había invitado a acompañarle en una expedición. Pero es tal la magnitud de los cambios que se están produciendo que habría podido ir prácticamente a cualquier lugar y, con la ayuda apropiada, encontrar sus señales. Un capítulo se ocupa de una extinción que está ocurriendo casi al lado de mi casa (algo que posiblemente podamos decir todos).*

*Si la extinción es un tema morboso, la extinción en masa lo es mucho más. Pero también es fascinante. En las páginas que siguen intento transmitir los dos aspectos, la emoción de lo que estamos descubriendo y aprendiendo, y el horror de todo ello. Mi esperanza es que los lectores de este libro se lleven una mejor apreciación del momento verdaderamente extraordinario en que vivimos.*

# 1

# La Sexta Extinción

*Atelopus zeteki*

El pueblo de El Valle de Antón, en el centro del Panamá, se encuentra en medio de un cráter volcánico que se formó hace más o menos un millón de años. Aunque tiene un diámetro de unos seis kilómetros y medio, en un día claro se alcanzan a ver los picos escarpados que rodean la ciudad cual muros de una torre en ruinas. El Valle tiene una calle principal, una comisaría de policía y un mercado al aire libre. Aparte del habitual surtido de sombreros panamás y bordados de vivos colores, el mercado ofrece lo que seguramente sea la mayor selección de figuritas de ranas doradas que haya en el mundo. Se pueden encontrar ranas doradas descansando sobre una hoja, sentadas sobre sus ancas o, lo que ya es más difícil de entender, agarrando un teléfono móvil. Hay ranas doradas vestidas con falda de volantes, ranas en postura de baile y ranas que fuman cigarrillos con boquilla al estilo de Franklin D. Roosevelt. La rana dorada, con su color amarillo taxi salpicado de motas marrones, es endémica del área que rodea El Valle. En Panamá se la considera un símbolo de la buena suerte, y su imagen adornaba (o más bien solía adornar) los billetes de lotería.

Hace sólo una década, era fácil encontrar ranas doradas en las colinas que rodean El Valle. Son ranas tóxicas (se calcula que el veneno de la piel de una sola de

estas ranas bastaría para matar un millar de ratones de tamaño medio), y por eso tiene una coloración tan llamativa que las hace destacar sobre el suelo del bosque. No muy lejos de El Valle, un riachuelo recibió el nombre de Arroyo de las Mil Ranas. Eran tantas las ranas que solían verse calentándose al sol en las riberas de este arroyo que, como me dijo un herpetólogo que había hecho ese recorrido muchas veces, «era una locura, una verdadera locura».

Pero entonces las ranas de El Valle comenzaron a desaparecer. El problema (todavía no se percibía como una crisis) se detectó primero hacia el oeste, cerca de la frontera de Panamá con Costa Rica. A la sazón, una estudiante de doctorado de Estados Unidos estudiaba las ranas de aquella selva lluviosa. Regresó a su país durante un tiempo para escribir su tesis y cuando volvió a Panamá no pudo encontrar ninguna rana, ni siquiera un anfibio de la especie que fuera. No tenía la menor idea de lo que estaba ocurriendo, pero como necesitaba ranas para sus investigaciones, estableció una nueva localidad de estudio más al este. Al principio las ranas del nuevo lugar parecían estar sanas, pero entonces ocurrió lo mismo: los anfibios desaparecieron. La maldición se extendió por toda la selva hasta que, en 2002, también desaparecieron las ranas de las montañas y los arroyos alrededor del pueblo de Santa Fe, a unos 80 kilómetros al oeste de El Valle. En 2004 comenzaron a aparecer los pequeños cadáveres más cerca aún de el Valle, alrededor de El Copé. Para entonces, un grupo de biólogos, algunos de Panamá, otros de Estados Unidos, habían llegado a la conclusión de que la rana dorada se hallaba en grave peligro, y decidieron intentar conservar una población remanente capturando unas pocas docenas de ejemplares de cada sexo, que criaron en cautividad. Fuera lo que fuese lo que estaba matando las

ranas, se movía más rápido de lo que temían los biólogos. Antes de que pudieran poner en práctica su plan, les alcanzó la ola de muerte.

La primera vez que leí algo sobre las ranas[1] de El Valle fue en una revista de la naturaleza para niños que tenían mis hijos. El artículo, ilustrado con vistosas fotografías de la rana dorada de Panamá y de otras especies de vivos colores, explicaba la historia de la plaga y los esfuerzos de los biólogos por tomarle la delantera. Los biólogos confiaban en construir un nuevo laboratorio en El Valle, pero no llegaron a tiempo. Corrieron a salvar tantos animales como pudieron, pero no tenían dónde protegerlos. ¿Qué hicieron entonces? Los llevaron a un «hotel para ranas, ¡naturalmente! ». El «increíble hotel para ranas» (en realidad un hotel rural) accedió a que la ranas se alojasen (dentro de sus tanques) en un bloque de habitaciones alquiladas.

«Con los biólogos a su entera disposición, las ranas disfrutaron de alojamientos de primera clase que incluían servicio de habitaciones», observaba el artículo. A las ranas se les servían deliciosos alimentos frescos, «tan frescos, de hecho, que la comida podía saltar del plato».

Apenas unas semanas después de leer sobre el «increíble hotel para ranas», encontré otro artículo relacionado con las ranas[2] escrito en un tono bastante distinto. Había aparecido en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, y lo firmaban un par de herpetólogos. Se titulaba «¿Nos hallamos en medio de la Sexta Extinción en Masa? Una perspectiva desde el mundo de los anfibios». Sus autores, David Wake, de la Universidad de California en Berkeley, y Vance Vredenburg, de la Universidad Estatal de San Francisco, señalaban que «se han producido cinco

grandes extinciones en masa durante la historia de la vida en nuestro planeta». Describían estas extinciones como eventos que habían provocado «una profunda pérdida de biodiversidad». La primera tuvo lugar durante el periodo Ordovícico tardío, hace unos 450 millones de años, cuando los seres vivos estaban prácticamente confinados al agua. La más devastadora se produjo al final del periodo Pérmico, hace unos 250 millones de años, y se acercó peligrosamente a la aniquilación de la vida en la Tierra. (Este evento se conoce a veces como «la madre de las extinciones en masa» y como «la gran mortandad».) La extinción en masa más reciente (y famosa) se dio a finales del periodo Cretácico; además de los dinosaurios, acabó con los plesiosauros, los mosasauros, los amonites y el pterosauro. Basándose en las tasas de extinción de anfibios, Wake y Vredenburg sostenían que se está produciendo un evento de una naturaleza igualmente catastrófica. Su artículo venía ilustrado por una única fotografía en la que se veía una quincena de ranas de patas amarillas de las montañas, todas muertas, que yacían hinchadas y panza arriba sobre unas rocas.

Comprendí por qué una revista para niños había optado por publicar fotografías de ranas vivas y no de ranas muertas. También comprendí el impulso por recrear la imagen simpática, al estilo de Beatrix Potter, de unas ranas disfrutando del servicio de habitaciones. Con todo, como periodista, me pareció que la revista había desaprovechado la historia principal. Un evento que ha ocurrido solamente cinco veces desde que apareció el primer animal con espina dorsal, hace unos 500 millones de años, sin duda hay que calificarlo de extremadamente raro. La idea de que el sexto de estos acontecimientos se esté produciendo ahora, más o menos ante nuestros ojos, me pareció, por usar un término técnico, alucinante. Si Wake y Vredenburg tienen razón,

quienes vivimos hoy no sólo estamos presenciando uno de los eventos más raros de la historia de la vida, sino que lo estamos causando. «Como una mala hierba, nuestra propia especie —observaban los autores—, sin darse cuenta, ha adquirido la capacidad de afectar a su propio destino y al de la mayoría de las especies de nuestro planeta.» A los pocos días de leer el artículo de Wake y Vredenburg reservaba un vuelo a Panamá.



© Vance Vredenburg.

El Centro para la Conservación de Anfibios de El Valle (EVACC, por sus siglas en inglés) se encuentra junto a una carretera de tierra no muy lejos del mercado al aire libre donde se venden las figuritas de ranas doradas. Tiene el tamaño de una casa residencial y se yergue en la esquina trasera de un pequeño y soñoliento zoo, justo detrás de la jaula de unos muy soñolientos perezosos. El edificio entero

está repleto de tanques. Hay tanques apilados contra las paredes y más tanques en el centro de la estancia, apilados también como libros en las baldas de una estantería. Los tanques más altos están ocupados por especies como la rana arborícola lémur, que habita el dosel del bosque; los más bajos, para especies como el sapito, que habita en el suelo del bosque. Los tanques de la rana marsupial cornuda, que lleva los huevos en una bolsa, se encuentran junto a los de la rana incubadora bandeada, que acarrea los huevos en la espalda. Unas cuantas docenas de tanques son para la rana dorada de Panamá, *Atelopus zeteki*.

Las ranas doradas caminan con ese característico paso que recuerda a un borracho intentando seguir una línea recta. Tiene las extremidades largas y delgadas, el morro amarillo puntiagudo y los ojos muy oscuros, con los que parecen observar el mundo con recelo. A riesgo de pasar por ingenua, diré que parecen inteligentes. En la naturaleza, las hembras ponen sus huevos en aguas corrientes poco profundas, mientras los machos defienden su territorio desde lo alto de rocas cubiertas de musgo. En el EVACC, cada uno de los tanques de la rana dorada tiene su propia agua corriente, que proporciona una pequeña manguera, de modo que los animales pueden criar cerca de un simulacro de los arroyos que en otro tiempo fueron su hogar. En uno de estos sucedáneos de arroyo, observé la presencia de unos cordeles de pequeños huevos perlados. En una pizarra blanca cercana, alguien había escrito emocionado que una de las ranas «¡ depositó huevos! ».

El EVACC se encuentra aproximadamente en el centro del área de distribución de la rana dorada, pero por diseño está completamente aislado del mundo exterior. No entra en el edificio nada que previamente no se haya desinfectado meticulosamente, incluidas las ranas, que, para poder entrar, primero tienen que ser tratadas con una solución de

lejía. A los visitantes humanos se les exige que lleven unos zapatos especiales y que dejen en la entrada cualquier bolsa, mochila o equipo que hayan utilizado en el campo. Al estar sellado, el lugar da la sensación de ser un submarino o, lo que seguramente sea más apropiado, una arca en medio del diluvio.



Una rana dorada de Panamá (*Atelopus zeteki*). © Michael & Patricia Fogden/Minden Pictures.

El director del EVACC es un panameño llamado Edgardo Griffith. Alto y ancho de hombros, tiene la cara redonda y la sonrisa amplia. Lleva un aro de plata en cada oreja, y un gran tatuaje con el esqueleto de un sapo en la espinilla izquierda. Camino de los cuarenta, Griffith ha dedicado prácticamente toda su vida adulta a los anfibios de El Valle, y ha convertido también a su mujer, una estadounidense que llegó a Panamá como voluntaria de Peace Corps, en una entusiasta de las ranas. Griffith fue la

primera persona que se percató de que los pequeños cadáveres habían comenzado a aparecer en la zona, y recolectó personalmente muchos de los centenares de anfibios que se registraron en el hotel. (Los animales fueron transferidos al EVACC en cuanto se construyó el edificio.) Si el EVACC es una especie de arca, Griffith es su Noé, pero con una responsabilidad más prolongada, pues desde luego lleva en el asunto mucho más de cuarenta días. Griffith me confesó que una parte fundamental de su trabajo consistía en conocer a las ranas como individuos. «Cada una de ellas tiene para mí el mismo valor que un elefante», me dijo.

La primera vez que visité el EVACC, Griffith me indicó los representantes de especies que ya se han extinguido en estado silvestre. Entre éstas se encontraba, además de la rana dorada de Panamá, la rana arbórea de Rabb, que fue identificada por primera vez en 2005. En el momento de mi visita, al EVACC sólo le quedaba una rana de Rabb, así que la posibilidad de salvar siquiera una única pareja, al estilo de Noé, se había esfumado. La rana, de color marrón verdoso con motas amarillas, medía unos diez centímetros, pero tenía unos pies desmesurados que le daban un aspecto de adolescente desgarbado. Las ranas arbóreas de Rabb vivían en el bosque por encima de El Valle y ponían los huevos en cavidades de los árboles. En lo que sin duda es una relación insólita, tal vez única, los machos de esta rana cuidaban de los renacuajos dejando que éstos, literalmente, se comieran la piel de su espalda. Griffith me dijo que creía que probablemente se habían dejado muchas otras especies de anfibios durante las primeras recolecciones apresuradas para el EVACC, y que era muy posible que hubieran desaparecido; se hacía difícil decir cuántas, pues lo más seguro es que la mayoría fuesen desconocidas para la ciencia. «Por desgracia —me dijo—, estamos perdiendo todos estos anfibios antes de saber siquiera que existen.»

«Hasta la gente corriente de El Valle se da cuenta», me dijo. «Me preguntan, "¿qué pasó con las ranas? Ya no las oímos cantar".»

Cuando empezaron a circular los primeros informes de que las poblaciones de ranas se estaban desplomando, hace unas cuantas décadas, algunas de las personas más expertas de este campo se mostraron escépticas. Al fin y al cabo, los anfibios se cuentan entre los grandes supervivientes del planeta. Los antepasados de las ranas actuales se arrastraron fuera del agua hace unos 400 millones de años, y hace unos 250 millones de años ya habían evolucionado los primeros representantes de lo que serían los tres órdenes de anfibios actuales: el primero incluye las ranas y los sapos, el segundo las salamandras y los tritones, y el tercero unos extraños animales sin patas conocidos como cecilias. Esto significa que los anfibios no sólo llevan por aquí mucho más tiempo que los mamíferos, por ejemplo, o las aves; es que ya existían antes de la era de los dinosaurios.

La mayoría de los anfibios (del griego «doble vida») todavía están muy vinculados al medio acuático en el que surgieron. (Los antiguos egipcios creían que las ranas se producían tras el acoplamiento de la tierra y el agua durante las inundaciones periódicas del Nilo.) Sus huevos carecen de cáscara y tienen que mantenerse húmedos para desarrollarse. Hay muchas ranas que, como la rana dorada de Panamá, ponen sus huevos en arroyos. También hay ranas que los ponen en charcas temporales, otras los entierran en el suelo y aun otras, en nidos que construyen con espuma. Además de las ranas que acarrean sus huevos en la espalda o en bolsas, las hay que los llevan envueltos cual vendajes alrededor de las ancas. Hasta hace poco,

antes de que ambas se extinguieran, se conocían dos especies de ranas que recibían el nombre de incubadoras gástricas, pues llevaban los huevos en el estómago y parían por la boca unas pequeñas ranitas.*

Los anfibios surgieron en un momento en que toda la tierra emergida del planeta formaba parte de una única masa conocida como Pangea. Desde que se fragmentó Pangea, se han adaptado a las condiciones de todos los continentes con la excepción de la Antártida. En todo el mundo se han identificado poco más de siete mil especies, y aunque la mayoría se encuentran en las selvas tropicales, hay unos pocos anfibios, como las ranas de las dunas de Australia, que pueden vivir en el desierto, y otros que, como la rana de bosque, pueden vivir por encima del Círculo Ártico. Varias ranas comunes en Norteamérica, como las ranas de la primavera, logran sobrevivir al invierno congeladas como carámbanos. Dada su dilatada historia evolutiva, grupos de anfibios que desde una perspectiva humana pueden resultar bastante parecidos, en términos genéticos son tan diferentes entre sí como, por ejemplo, los murciélagos y los caballos.

David Wake, uno de los autores del artículo que me llevó a Panamá, se encontraba entre quienes al principio no creían que los anfibios estuviesen desapareciendo. Eso fue a mediados de la década de 1980. Los estudiantes de Wake comenzaron entonces a regresar con las manos vacías de sus excursiones de recolección de ranas en Sierra Nevada. Wake recordaba de sus días de estudiante, en los años sesenta, que era difícil no tropezarse con las ranas de la Sierra. «Caminabas por los prados y sin darte cuenta podías pisarlas.» Wake supuso que sus estudiantes no iban a los lugares adecuados, o que no sabían cómo buscarlas. Pero entonces un investigador de posdoctorado con varios años de experiencia en la recolección le dijo que tampoco él

lograba encontrar ranas. «Dije, “De acuerdo, iré contigo y nos acercaremos a algunos lugares seguros”», recordaba Wake. «Pero cuando los llevé a aquel lugar donde seguro que había, no encontramos más que dos sapos.»

En parte, lo que hacía que aquella situación fuese tan difícil de explicar era la geografía; las ranas parecían estar desapareciendo no sólo de las áreas pobladas o perturbadas sino también de los lugares mejor conservados, como la Sierra o las montañas de América Central. A finales de los años ochenta, una herpetóloga[3] norteamericana visitó la Reserva de Bosque Nuboso de Monteverde, en el norte de Costa Rica, para estudiar los hábitos reproductores de los sapos dorados. Anduvo buscándolos durante dos temporadas de campo, pero allí donde en otro tiempo los sapos se apareaban formando masas temblorosas sólo pudo encontrar un único macho. (El sapo dorado, hoy clasificado como extinto, era en realidad de un vivo color mandarina. Sólo era un pariente muy lejano de la rana dorada de Panamá, que, al poseer cierto par de glándulas detrás de los ojos, técnicamente también es un sapo.) Más o menos al mismo tiempo, en el centro de Costa Rica, los biólogos notaron que las poblaciones de varias especies endémicas de rana se habían desplomado. Las especies raras y muy especializadas estaban desapareciendo, pero también las más comunes. En Ecuador, el jambato negro, un sapo frecuente en los huertos, desapareció en cuestión de años. Y en el noreste de Australia, la rana diurna meridional, que en otro tiempo había sido una de las especies más comunes de la región, también dejó de verse.

La primera pista sobre el misterioso asesino que estaba acabando con las ranas desde Queensland hasta California llegó, irónicamente o no, de un parque zoológico. El Zoo Nacional de Washington, D.C. llevaba un tiempo criando

con éxito la rana dardo azul, originaria de Suriname, durante varias generaciones. Y entonces, casi de un día para otro, las ranas que se criaban en los tanques del zoo empezaron a perecer. Un veterinario patólogo del zoo tomó algunas muestras de las ranas muertas y las examinó con un microscopio electrónico de barrido. Sobre la piel de los animales halló un extraño microorganismo que más tarde identificó como un hongo de un grupo conocido como quitridios.

Los hongos quitridios son prácticamente ubicuos: se encuentran igual en las copas de los árboles que a gran profundidad bajo el suelo. Sin embargo, esta especie concreta no se había visto nunca; de hecho, era tan peculiar que hubo que crear un género entero para darle cabida. Se le dio el nombre de *Batrachochytrium dendrobatidis* (del griego *batrachos*, «rana»), o simplemente Bd.

El veterinario patólogo envió muestras de ranas infectadas del Zoo Nacional a un micólogo de la Universidad de Maine. El micólogo cultivó el hongo y envió una muestra cultivada de vuelta a Washington. Cuando se expuso unas ranas sanas al Bd cultivado en el laboratorio, enfermaron y a las tres semanas habían muerto. Investigaciones posteriores demostraron que Bd afecta la capacidad de las ranas para absorber algunos electrolitos esenciales a través de la piel, lo que acaba provocándoles un ataque al corazón.

El EVACC debe describirse como una obra en continuo desarrollo. La semana que pasé en el centro también estaba allí un equipo de voluntarios de Estados Unidos que ayudaba a montar una exposición. Ésta iba a abrirse al público, pero por razones de bioseguridad se debía aislar la estancia y dotarla de su propia entrada. En las paredes

había huecos en los que más tarde se montarían tanques de vidrio, y alrededor de los huecos alguien había pintado un paisaje montañoso muy parecido al que podía verse si se salía afuera y se miraba las colinas. La estrella de la exhibición iba a ser un tanque de gran tamaño lleno de ranas doradas de Panamá, y los voluntarios estaban intentando construirles con cemento una cascada de un metro de altura. Pero había problemas con el sistema de bombeo y dificultades para conseguir piezas de repuesto en un valle donde no había ni una sola ferretería. Los voluntarios pasaban mucho tiempo sin nada que hacer, esperando.

Estuve mucho tiempo con ellos. Como Griffith, todos los voluntarios eran unos apasionados de las ranas. Según descubrí, varios eran cuidadores de zoos que trabajaban con anfibios en Estados Unidos. (Uno me dijo que las ranas habían acabado con su matrimonio.) Me conmovió la dedicación de aquel equipo, el mismo tipo de compromiso que había conseguido que las ranas llegasen al «hotel de las ranas» y que más tarde había puesto en marcha el EVACC, aunque todavía estuviera inacabado. Pero no pude evitar sentir que en aquellas colinas pintadas y en la falsa cascada había algo terriblemente triste.

Ahora que ya casi no quedan ranas en los bosques que rodean El Valle, las razones para traer aquellos animales al EVACC han quedado más que probadas. Sin embargo, cuanto más tiempo pasan las ranas en el centro, más difícil resulta explicar qué hacen allí. Como hoy sabemos, el hongo quitridio no necesita los anfibios para sobrevivir, lo que significa que, aun después de matar todos los animales de un área, sigue viviendo, haciendo lo que sea que hacen los hongos quitridios. Por consiguiente, si se dejara que las ranas del EVACC retornasen a las colinas de verdad que rodean El Valle, caerían enfermas y morirían. (Aunque el

hongo se puede matar con lejía, obviamente es imposible desinfectar un bosque entero.) Todas las personas con las que hablé en EVACC me dijeron que el objetivo del centro era mantener los animales hasta que se pudieran liberar para repoblar los bosques, pero todos reconocían también que no veían de qué manera se podría conseguir eso.

«Tenemos que albergar la esperanza de que de un modo u otro lo lograremos», me dijo Paul Crump, un herpetólogo del zoo de Houston que dirigía el proyecto de la cascada que ahora se había atascado. «Debemos creer que ocurrirá algo que nos permitirá arreglar las cosas, dejarlas como estaban antes, aunque ahora que lo digo en voz alta suena un poco estúpido.»

«La meta es conseguir devolverlas, algo que cada día que pasa me parece más una fantasía», me dijo Griffith.

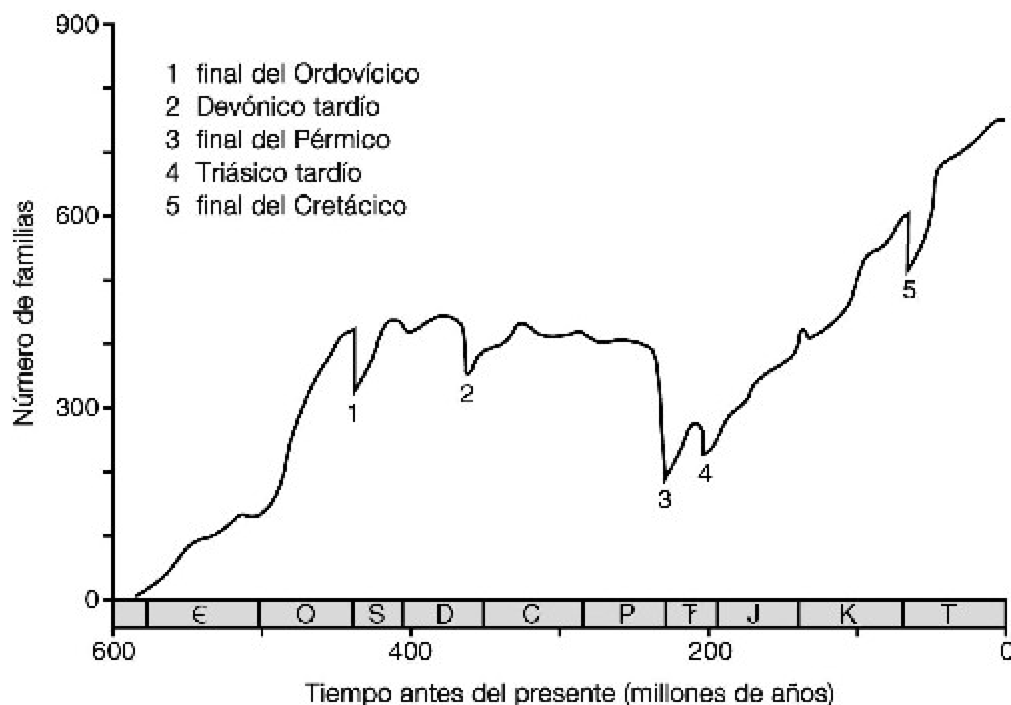
Cuando el quitridio barrió El Valle, no se paró allí, sino que siguió avanzando hacia el este. Desde entonces ha entrado en Panamá también desde la dirección opuesta, desde Colombia. El Bd se ha extendido por las tierras altas de Sudamérica y por la costa oriental de Australia, y ya ha cruzado hasta Nueva Zelanda y Tasmania. Ha atravesado veloz el Caribe, y se ha detectado en Italia, España, Suiza y Francia. En Estados Unidos, parece haberse expandido a partir de varios focos, no tanto al modo de una oleada como de un tren de pequeñas olas. Hoy en día, a todos los efectos, parece imparable.

Del mismo modo que los ingenieros acústicos hablan de «ruido de fondo», los biólogos hablan de «extinción de fondo». En tiempos normales (tiempos que aquí hay que entender como épocas geológicas enteras), la extinción se produce muy raramente, más raramente aún que la especiación, a un ritmo que se conoce como tasa de

extinción de fondo. Esta tasa varía de un grupo de organismos a otro, y a menudo se expresa en número de extinciones por millón de especies-años. El cálculo de la tasa de extinción de fondo es una tarea laboriosa que implica el examen de las bases de datos de fósiles. Para el grupo posiblemente mejor estudiado,[4] el de los mamíferos, se ha estimado en aproximadamente 0,25 por millón de especies-años. Esto significa que, como en la actualidad campan por la Tierra unas 5.500 especies de mamíferos, con la tasa de extinción de fondo esperaríamos (también de manera muy aproximada) la extinción de una especie cada 700 años.[*]

La extinción en masa es otra cosa. En lugar de un murmullo de fondo hay una explosión, un pico en las tasas de extinción. Anthony Hallam y Paul Wignall, paleontólogos británicos[5] que han escrito mucho sobre este tema, definen las extinciones en masa como eventos que eliminan «una fracción significativa de la biota del mundo en un periodo de tiempo geológicamente insignificante». Otro experto, David Jablonski,[6] caracteriza las extinciones en masa como «pérdidas sustanciales de biodiversidad» que se producen rápidamente y tienen «extensión global». Michael Benton, un paleontólogo[7] que ha estudiado la extinción de finales del Pérmico, usa la metáfora del árbol de la vida: «Durante una extinción en masa se cortan grandes secciones del árbol, como si a éste le hubiera atacado una horda de locos con hachas». Un quinto paleontólogo, David Raup,[8] ha intentado examinar la cuestión desde la perspectiva de las víctimas: «Las especies tienen un riesgo de extinción bajo la mayor parte del tiempo». Pero esta «condición de relativa seguridad se rompe a intervalos infrecuentes por episodios de riesgo muchísimo más alto». La historia de la vida consiste, pues, en «largos periodos de aburrimiento ocasionalmente interrumpidos por el pánico».

En tiempos de pánico, grupos enteros de organismos otrora dominantes pueden desaparecer o quedar relegados a papeles secundarios, casi como si el mundo cambiase el elenco de actores. Pérdidas de tal magnitud han llevado a los paleontólogos a conjeturar que, durante los episodios de extinción en masa (además de las Cinco Grandes ha habido muchos otros eventos de este tipo de menor magnitud), las reglas habituales de supervivencia quedan en suspenso. Las condiciones cambian de una forma tan drástica o tan repentina (o de una forma tan drástica *y* tan repentina) que la historia evolutiva cuenta poco. De hecho, los mismos rasgos que habían resultado tan útiles para enfrentarse a las amenazas corrientes pueden resultar fatales en circunstancias tan excepcionales.




Las Cinco Grandes Extinciones, tal como se observan en el registro fósil marino, ocasionaron fuertes caídas en la diversidad de las familias. Si tan sólo una especie de una familia superaba el evento, la familia se contaba entre las

supervivientes, de manera que en cuanto a especies las pérdidas fueron mucho mayores. Adaptada de David M. Raup y J. John Sepkoski Jr./ *Science*, 215 (1982), p. 1502.

Un cálculo riguroso de la tasa de extinción de fondo de los anfibios todavía está por hacer, en parte porque los fósiles de anfibios son muy raros. No obstante, es casi seguro que es más baja que la de los mamíferos.[9] Es probable que se extinga una especie de anfibio cada mil años o más. Esa especie podría ser de África o de Asia o de Australia. En otras palabras, la probabilidad de que una persona sea testigo de un evento de este tipo debería ser prácticamente cero. Pero Griffith ya ha observado varias extinciones de anfibios. Y puede decirse que prácticamente todo herpetólogo que trabaje en el campo ha sido testigo de varias. (Yo misma, durante el tiempo que he estado recopilando información para este libro, me he encontrado con que una especie se ha extinguido y otras tres o cuatro, como la rana dorada de Panamá, están extinguidas en estado silvestre.) «Quería dedicarme a la herpetología[10] porque me gusta trabajar con animales», escribió Joseph Mendelson, un herpetólogo del zoo de Atlanta. «No podía imaginar que acabaría pareciéndose a la paleontología.»

En la actualidad los anfibios gozan del dudoso honor de ser la clase de animales sometida a un mayor peligro de extinción; se ha calculado que la tasa de extinción de este grupo[11] podría ser hasta cuarenta y cinco mil veces más alta que la tasa de fondo. Pero las tasas de extinción de muchos otros grupos se acercan a los niveles de los anfibios. Se ha estimado que una tercera parte de los corales[12] que construyen arrecifes, una tercera parte de los moluscos de agua dulce, una tercera parte de los tiburones y las rayas, una cuarta parte de los mamíferos, una quinta parte de los reptiles y una sexta parte de las aves se dirigen a la desaparición. Las pérdidas se producen en todos lados:

en el Pacífico sur y en el Atlántico norte, en el Ártico y en el Sahel, en lagos y en islas, en las cimas de las montañas y en los valles. Quien sepa cómo mirar, probablemente hallará signos del actual evento de extinción al lado de su propia casa.

Hay muchas y muy variadas razones que explican la desaparición de las especies. Pero si se sigue el proceso lo bastante lejos, es inevitable encontrarse con el mismo culpable: «una sola especie invasora».

El hongo Bd es capaz de desplazarse por sus propios medios. Forma unas esporas microscópicas dotadas de una larga y delgada cola; estas esporas se impulsan por sí mismas en el agua y pueden desplazarse a muy largas distancias por los arroyos o con la escorrentía que se forma después de una tormenta. (Es probable que este tipo de dispersión produjera lo que en Panamá se manifestó como una plaga que se movía hacia el este.) Pero este tipo de movimiento no puede explicar la aparición del hongo en partes tan distantes del planeta (Centroamérica, Sudamérica, Norteamérica y Australia), de forma casi simultánea. Según una teoría, el hongo Bd se ha desplazado por el mundo con los envíos de ranas de uñas africanas, que durante las décadas de 1950 y 1960 se utilizaban en los test de embarazo. (Cuando a las hembras de esta especie se les inyecta orina de una mujer embarazada, a las pocas horas ponen huevos.) Es interesante observar que el Bd no afecta negativamente a la rana de uñas africana pese a que las infecciones con este hongo son frecuentes. Una segunda teoría sugiere que el hongo se dispersó a través de la rana toro americana, que se ha introducido, a veces de manera accidental, otras veces deliberada, en Europa, Asia y Sudamérica, y que se suele exportar para consumo humano. Las ranas toro americanas también están ampliamente infectadas por Bd pero no parece que eso las

afecte. A la primera de estas hipótesis se la conoce como «emigración africana», y a la segunda podríamos apodarla «sopa de ancas».

En cualquier caso, la etiología es la misma. Sin alguien que la cargase en un barco o un avión, habría sido imposible que una rana con Bd pasase de África a Australia o de Norteamérica a Europa. Este tipo de mezcla intercontinental, que hoy nos parece de lo más corriente, probablemente no tenga precedentes durante los 3.500 millones de años de historia de la vida.

Aunque en la actualidad el hongo Bd ya ha barrido la mayor parte de Panamá, Griffith sigue saliendo de vez en cuando a recolectar para el EVACC, en busca de supervivientes. Preparé mi visita para que coincidiera con una de aquellas excursiones de recolección, y una tarde salí con él y dos de los voluntarios americanos que estaban trabajando en la cascada. Nos dirigimos al este, a través del Canal de Panamá, y pasamos la noche en una región conocida como Cerro Azul, en una pensión rodeada por una valla de hierro de más de dos metros de altura. Al amanecer, condujimos hasta la estación del guarda a la entrada del Parque Nacional Chagres. Griffith albergaba la esperanza de encontrar hembras de dos especies de las que andaban escasos en EVACC. Extrajo su permiso de recolección emitido por el gobierno y se lo enseñó a los soñolientos oficiales de la estación. Varios perros famélicos se acercaron a olfatear nuestra camioneta.

Pasada la caseta de los guardas, la carretera se convertía en una serie de baches enlazados por profundas roderas. Griffith puso Jimi Hendrix en el CD de la camioneta, y dimos tumbos al ritmo de su vibrante música. La recolección de ranas requiere mucho equipo, así que

Griffith había contratado a dos hombres para que le ayudasen a transportarlo. En el último grupo de casas, en la diminuta aldea de Los Ángeles, los hombres se materializaron entre la niebla. Seguimos dando tumbos hasta que la camioneta dijo basta; entonces bajamos y empezamos a caminar.

El sendero serpenteaba por la selva lleno de barro rojo. Cada pocos cientos de metros, otro más estrecho cruzaba el sendero principal; éstos eran obra de las hormigas arrieras con sus millones, o quizá miles de millones de viajes para llevar hasta sus colonias los trozos de hojas que cortan. (Las colonias, que parecen montones de serrín, pueden ocupar un área del tamaño de un parque urbano.) Uno de los americanos, del zoo de Houston, Chris Bednarski, me advirtió de que evitara las hormigas soldado, que dejan las mandíbulas clavadas en la espinilla incluso después de muertas. «Ésas te lo harán pasar mal», me dijo. El otro americano, John Chastain, del zoo de Toledo, llevaba un gancho largo para ocuparse de las serpientes venenosas. «Por suerte, las malas de verdad son bastante raras», me aseguró Bernarski. Los monos aulladores gritaban en la lejanía. Griffith me indicó unas huellas de jaguar en el suelo blando.

Al cabo de una hora, más o menos, llegamos a una zona de cultivo que alguien había arrebatado a los árboles. Crecían allí algunas plantas de maíz esmirriadas, pero no se veía a nadie alrededor, y se hacía difícil decir si el campesino se había dado por vencido por el pobre suelo de la selva o simplemente no estaba aquel día. Hacia el aire salió disparada una bandada de loros verde esmeralda. Al cabo de unas pocas horas, llegamos a un pequeño claro. Una mariposa morfo pasó aleteando con sus alas del color del cielo. Aunque había una pequeña cabaña, estaba en tan mal estado que todos preferimos dormir al raso. Griffith me

ayudó a preparar el lecho, un cruce entre una tienda y una hamaca que había que colgar entre dos árboles. Una abertura en el fondo servía de entrada, y el techo supuestamente proporcionaba protección frente a la lluvia. Cuando me deslicé en el interior de aquella cosa, me dio la impresión de estar estirada en un ataúd.

Aquella noche Griffith preparó un poco de arroz en un hornillo de gas. Luego nos pusimos unas linternas frontales y bajamos hasta un arroyo cercano. Muchos anfibios son nocturnos, y la única manera de verlos es buscándolos en la oscuridad, un ejercicio que es tan difícil como parece. No dejaba de resbalar y violar la primera regla de seguridad en la selva: nunca te agarres a nada si no sabes lo que es. Tras una de mis caídas, Bednarski me señaló una tarántula del tamaño de mi puño que descansaba junto al árbol más próximo.

Los recolectores experimentados pueden encontrar ranas por la noche dirigiendo la linterna hacia el bosque y buscando el brillo que reflejan sus ojos. El primer anfibio que detectó Griffith de este modo fue una ranita de cristal de San José posada sobre una hoja. Estas ranas forman parte de una familia más amplia de ranitas de cristal que reciben este nombre porque su piel traslúcida revela el contorno de sus órganos internos. Ésta era verde con unas diminutas motas amarillas. Griffith sacó de su mochila un par de guantes de látex. Se mantuvo completamente quieto y luego, con el gesto de una garza, con una mano cogió la rana. Con la mano libre tomó lo que parecía el extremo de un bastón para el oído y frotó con él el vientre de la rana. Puso el algodón en un pequeño vial de plástico que más tarde se enviaría a un laboratorio para analizar la presencia de Bd, y como no era una de las especies que estaba buscando, dejó la rana de nuevo sobre la hoja. Entonces sacó la cámara. La rana miró el objetivo impasible.

Seguimos avanzando a tientas en la oscuridad. Alguien detectó un cutín de La Loma, de color rojo anaranjado, como el suelo de la selva; otro encontró una rana de Warzewitsch, de color verde brillante y forma de hoja. Con cada uno de los animales, Griffith realizó el mismo procedimiento: cogerla con un gesto rápido, frotar el vientre con un algodón y fotografiarla. Por último, descubrimos un par de ranas mususas abrazadas en amplexo, la versión anfibia del sexo. Griffith decidió no molestar a la pareja.

Uno de los anfibios que Griffith esperaba recolectar, la rana marsupial cornuda, tiene un canto distintivo que se ha comparado con el sonido que se produce al descorchar una botella de champán. Mientras avanzábamos chapoteando (para entonces caminábamos por en medio del arroyo), oímos su canto, que parecía venir de varias direcciones al mismo tiempo. Al principio sonó como si estuviera allí mismo, pero a medida que nos acercábamos nos parecía que estuviera más lejos. Griffith comenzó a imitar su canto, produciendo con los labios el sonido de descorchar una botella. Al final decidió que todos nosotros ahuyentábamos a las ranas con nuestro chapoteo. Avanzamos un poco y nos quedamos mucho tiempo con el agua hasta las rodillas, intentando no movernos. Cuando Griffith por fin nos hizo un gesto para que nos acercáramos, lo encontramos de pie frente a una gran rana amarilla de dedos largos y rostro solemne. Estaba sentada en la rama de un árbol, justo por encima de la altura de nuestros ojos. Griffith buscaba una hembra de rana marsupial cornuda para añadirla a la colección del EVACC. Estiró el brazo, agarró la rana y le dio la vuelta. Donde un hembra de rana marsupial debería tener su bolsa, ésta no tenía nada. Griffith la frotó con una punta de algodón, la fotografió y la dejó de nuevo en el árbol.

«Eres un chico guapo», le murmuró a la rana.

A medianoche volvimos al campamento. Los únicos animales que Griffith decidió traer consigo fueron dos minúsculas ranas venenosas de vientre azul y una salamandra blanquecina de una especie que ni él ni los dos americanos consiguieron determinar. Guardaron las ranas y la salamandra en bolsas de plástico con algunas hojas para mantenerlas húmedas, y se me ocurrió que aquellas ranas y su progenie, si la tenían, y la progenie de su progenie, si la tenían, ya no tocarían nunca más el suelo de la selva, sino que vivirían todos sus días dentro de unos tanques de vidrio desinfectados. Aquella noche llovió torrencialmente, y en aquella hamaca que me recordaba un ataúd tuve sueños vívidos y agitados, pero la única escena que recordaría más tarde sería la de una brillante rana amarilla que fumaba un cigarrillo con boquilla.

# 2

# Los molares del mastodonte

*Mammut americanum*

La extinción tal vez sea la primera idea científica a la se enfrentan los niños en nuestros días. Los niños de un año, que a duras penas caminan, ya juegan con dinosaurios, y los de dos años entienden, aunque sólo sea de una forma vaga, que aquellas pequeñas criaturas de plástico representan animales de gran tamaño. Si son rápidos de entendederas (o, alternativamente, si tardan en aprender a hacer sus cosas), niños que todavía llevan pañales pueden explicarte que en otro tiempo hubo muchos tipos de dinosaurios pero que todos desaparecieron hace muchos años. (Mis propios hijos, cuando empezaban a caminar, solían pasar muchas horas con un juego de dinosaurios que podían colocar sobre una esterilla de plástico que representaba un bosque del Jurásico o el Cretácico. En la escena había un volcán que expulsaba lava y que, si se presionaba, emitía un estruendo deliciosamente terrorífico.) Todo eso nos dice que hoy en día la extinción nos parece una idea obvia. Pero no lo es.

Aristóteles escribió una *Historia de los animales* en diez volúmenes sin considerar en ningún momento la posibilidad de que los animales realmente tuviesen una historia. La *Historia natural* de Plinio incluye descripciones de animales reales y de otros fabulosos, pero no hay descripciones de animales que se hayan extinguido. La idea no se abrió paso tampoco durante la Edad Media o durante el Renacimiento,

cuando la palabra «fósil» se usaba para referirse a cualquier cosa que se sacara del suelo (de ahí el término «combustibles fósiles»). Durante la Ilustración, la idea dominante era que toda especie constituía un eslabón de una enorme e irrompible «cadena del ser». En palabras de Alexander Pope en *Ensayo sobre el hombre*:

> Todo forma parte de un todo estupendo,
> cuyo cuerpo es la naturaleza, y Dios el alma.

Cuando Carlos Linneo introdujo su sistema de nomenclatura binomial, no estableció ninguna distinción entre lo vivo y lo muerto porque, a su modo de ver, no era necesario. La décima edición de su *Systema Naturae*, publicada en 1758, contiene sesenta y tres especies de escarabajos peloteros, treinta y cuatro de conos (moluscos), y dieciséis de peces planos. Sin embargo, en *Systema Naturae* sólo hay un tipo de animales: los que existen.

Esta manera de ver las cosas persistió a pesar de un considerable número de indicios que sugerían lo contrario. En Londres, París y Berlín, los gabinetes de curiosidades estaban repletos de restos de extraños organismos que nadie había visto nunca: restos de animales que hoy identificamos como trilobites, belemnites y amonites. Algunos de estos últimos eran tan grandes que sus conchas fosilizadas se acercaban al tamaño de los vagones de ferrocarril. Cada vez con mayor frecuencia, durante el siglo XVIII fueron llegando a Europa desde Siberia huesos de mamut, pero también éstos se metieron en el sistema con calzador: puesto que claramente no había elefantes en Rusia, se decidió que aquellos debían de pertenecer a bestias que el Diluvio Universal del Génesis había arrastrado hasta el norte.

El concepto de la extinción surgió, y seguramente no por casualidad, en la Francia revolucionaria. Y lo hizo en parte gracias a un animal, el que hoy conocemos como mastodonte americano, o *Mammut americanum*, y gracias a un hombre, el naturalista Jean-Léopold-Nicolas-Frédéric Cuvier, conocido en honor a un hermano muerto simplemente como Georges. Cuvier es un personaje equívoco en la historia de la ciencia. Fue mucho más avanzado que sus coetáneos en algunos aspectos, pero los mantuvo retrasados en otros; podía ser cautivador pero también despiadado; fue un visionario pero al mismo tiempo un reaccionario. A mediados del siglo XIX muchas de sus ideas habían quedado desacreditadas. Sin embargo, los descubrimientos más recientes han tendido a apoyar aquellas de sus teorías que más se habían denigrado, y la visión de Cuvier de la historia de la Tierra, esencialmente trágica, hoy nos parece profética.

No está claro cuándo fue la primera vez que los europeos encontraron huesos del mastodonte americano. En 1705 llegó a Londres un molar aislado descubierto en un campo del norte del estado de Nueva York; recibió el sobrenombre de «diente de un gigante».[1] En 1739 se descubrieron los primeros huesos de mastodonte que fueron sometidos a lo que hoy, de manera anacrónica, podríamos calificar de estudio científico. Aquel año, Charles le Moyne, el segundo barón de Longueuil, bajaba por el río Ohio con una tropa de cuatrocientos, algunos franceses como él mimo, la mayoría algonquines o iroqueses. El viaje era arduo y las provisiones escasas. Según recordaría un soldado francés,[2] en uno de los trayectos las tropas se vieron obligadas a sustentarse con bellotas. En cierto momento, posiblemente durante el otoño, Longueuil y sus tropas sentaron campo en la ribera

oriental del Ohio, no lejos de lo que hoy es la ciudad de Cincinnati. Varios de los nativos americanos salieron a cazar. A los pocos kilómetros llegaron a una zona pantanosa que desprendía un olor sulfuroso. Hacia el pantano llegaban rastros de búfalos desde todas las direcciones, y cientos de grandes huesos, tal vez miles, emergían del cieno cual restos de la arboladura de un barco naufragado. Los hombres regresaron al campamento con un fémur de un metro de largo, un inmenso colmillo y varios dientes enormes. Los dientes tenían raíces del tamaño de una mano humana, y cada uno pesaba más de cuatro kilos.

Longueuil quedó tan intrigado por los huesos que cuando levantó el campamento ordenó a sus tropas que los llevasen consigo. Cargando con aquellos enormes molares, el fémur y el colmillo, los hombres siguieron avanzando por aquellas tierras salvajes. Por fin llegaron al río Misisipí, donde se unieron a un segundo contingente de tropas francesas. Durante los meses que siguieron, muchos de los hombres de Longueuil murieron por enfermedades, y la campaña a la que habían ido a luchar, contra los chickasaw, acabó en humillación y derrota. Pese a ello, Longueuil mantuvo los extraños huesos a buen recaudo. Se dirigió a Nueva Orleans y desde allí envió a Francia el colmillo, los dientes y el fémur gigante. Fueron un presente para Luis XV, quien los instaló en su museo, el Gabinete del Rey. Décadas más tarde, los mapas del valle del río Ohio seguían estando prácticamente vacíos, salvo por el *Endroit où on a trouvé des os d’Éléphant*, el «lugar donde se hallaron los huesos de elefante». (En la actualidad, el «lugar donde se hallaron los huesos de elefante» es un parque natural estatal de Kentucky conocido como Big Bone Lick.)

Los huesos de Longueuil desconcertaron a todos los que los examinaron. El fémur y el colmillo tenían todo el aspecto de haber pertenecido a un elefante o, lo que para la

taxonomía de entonces era casi lo mismo, un mamut. Pero los dientes del animal eran un enigma. Se resistían a cualquier categorización. Los dientes de los elefantes (y también de los mamuts) tienen la corona plana con finas crestas que discurren de un lado al otro, de manera que la superficie de masticación recuerda la suela de una zapatilla de correr. En cambio, los dientes de mastodonte forman cúspides. De hecho, parecen haber pertenecido a un humano gigantesco. El primer naturalista que los estudió, Jean-Étienne Guettard, rehusó incluso conjeturar sobre su procedencia.

«¿De qué animal proceden?»,[3] se preguntaba quejumbrosamente en un artículo leído en 1752 ante la Real Academia de las Ciencias francesa.

En 1762, el conservador del Gabinete del Rey, Louis-Jean-Marie Daubenton, intentó resolver el enigma de aquellos curiosos dientes declarando que «el desconocido animal de Ohio» no era siquiera un animal, sino dos. El colmillo y el fémur eran de elefante, pero los molares procedían de otro animal completamente distinto. Y decidió que ese otro animal probablemente era un hipopótamo.

Más o menos por la misma época llegó a Europa un segundo envío de huesos de mastodonte, esta vez a Londres. Estos restos, también de Big Bone Lick, mostraban la misma y desconcertante pauta: los huesos y colmillos eran parecidos a los del elefante, pero los molares estaban coronados de protuberancias. A William Hunter, el médico personal de la reina, la explicación que daba Daubenton de la discrepancia le pareció insuficiente, y propuso otra explicación, la primera que se acercaba a la realidad.

«El presunto elefante americano»,[4] sugirió, era un animal totalmente nuevo «que los anatomistas desconocían». Decidió que se trataba de un carnívoro, de

ahí sus temibles molares, y apodó a la bestia *incognitum* americano.

El más destacado naturalista francés, Georges-Louis Leclerc, Conde de Buffon, añadió un nuevo elemento al debate. Argumentó que los restos en cuestión no correspondían a uno ni a dos, sino a tres animales distintos: un elefante, un hipopótamo y una tercera especie, todavía desconocida. Con gran turbación, Buffon admitió[5] que esta última especie, «la mayor de todas ellas», parecía haber desaparecido, y propuso que era el único animal terrestre que lo había hecho nunca.

En 1781, Thomas Jefferson, se vio atraído por la controversia. En sus *Notas sobre el estado de Virginia*, escritas justo después de dejar de ser gobernador de aquel estado, Jefferson elaboró su propia versión del *incognitum*. Como Buffon, sostenía que el animal era la mayor de todas las bestias, «de cinco a seis veces el volumen cúbico del elefante». (Esto refutaría la teoría, popular entonces en Europa, de que los animales del Nuevo Mundo eran más pequeños y más «degenerados» que los del Viejo Mundo.) Jefferson se mostraba también de acuerdo con Hunter en que probablemente se tratase de un carnívoro. Pero todavía debía de estar vivo en algún lugar. Si no se podía encontrar en Virginia, debía de andar por aquellas partes del continente que «persisten en su estado aborigen, todavía sin explorar y sin perturbar». Cuando, ya siendo presidente, envió a Meriwether Lewis y William Clark al noreste, Jefferson albergaba la esperanza de que pudieran encontrar algunos *incognita* vivos paseando por sus bosques.

«Tal es la economía de la naturaleza —escribió— que no se podría hallar caso alguno en que permitiera que alguna de sus razas de animales se extinguieran; de que forjase en su gran obra un eslabón tan débil que se haya roto.»

Cuvier llegó a París a principios de 1795, medio siglo después de que se encontraban ya en la ciudad los restos del valle del río Ohio. Contaba entonces veinticinco años, y tenía los ojos grises y bien separados, la nariz prominente y un temperamento que un amigo compararía[6] con el exterior de la Tierra: habitualmente frío, pero capaz de violentos temblores y erupciones. Cuvier había nacido en una pequeña ciudad de la frontera con Suiza y tenía pocos contactos en la capital. No obstante, había conseguido hacerse allí con una posición prestigiosa, gracias en parte al final del *ancien régime* y en parte a la sublime estima en que se tenía a sí mismo. Un colega mayor que él diría más tarde[7] que había aparecido en París «como una seta».

El trabajo de Cuvier en el Museo de Historia Natural de París, el sucesor democrático del Gabinete del Rey, era, oficialmente, el de enseñar. Sin embargo, en su tiempo libre se sumergió en la colección del museo. Dedicó largas horas a estudiar los huesos que Longueuil había enviado a Luis XV, comparándolos con los de otros especímenes. El 4 de abril de 1796 (o, de acuerdo con el calendario revolucionario al uso, el 15 de germinal del año IV), presentó los resultados de su investigación en una conferencia pública.

Cuvier comenzó hablando de los elefantes. Los europeos sabían desde hacía mucho tiempo que había elefantes en África, que se consideraban peligrosos, y elefantes que residían en Asia, que se consideraban más dóciles. Con todo, los elefantes eran vistos como elefantes, igual que los perros como perros, unos más mansos y otros más feroces. A partir de su examen[8] de los restos de elefante del museo, entre ellos un cráneo especialmente bien conservado de Ceilán y otro de Cabo de Buena Esperanza, Cuvier había reconocido (correctamente, por supuesto) que los dos pertenecían a especies distintas.

«Es evidente que el elefante de Ceilán difiere más del de África que el caballo del asno o la cabra de la oveja», declaró. Entre las muchas características distintivas de los animales están sus dientes. El elefante de Ceilán tenía molares con crestas onduladas en su superficie «como si estuviera adornado con cintas», mientras que los dientes del elefante del Cabo de Buena Esperanza tenían crestas dispuestas en forma de rombos. El examen de animales vivos no habría revelado esta diferencia, pues ¿quien cometería la imprudencia de mirar en el interior de la boca de un elefante? «Solamente a la anatomía[9] debe la zoología este interesante descubrimiento», declaró Cuvier.

Tras conseguir, por así decirlo, escindir el elefante en dos, Cuvier prosiguió con su disección. Acerca de la teoría generalmente aceptada sobre los huesos gigantes de Rusia, Cuvier llegó a la conclusión, «tras un detenido examen», de que era incorrecta. Los dientes y las mandíbulas de Siberia «no se parecen de manera exacta a los de un elefante». Claramente pertenecían a otra especie. En cuando a los dientes del animal del río Ohio, una simple mirada «bastaba para ver que diferían incluso más».

«¿Qué ha pasado con estos dos enormes animales de los que ya no se encuentra rastro alguno de ejemplares vivos?», se preguntó. La pregunta, tal como la formulaba Cuvier, se respondía a sí misma. Eran *espèces perdues*, especies perdidas. Cuvier acababa de doblar el número de vertebrados extinguidos de (posiblemente) uno a dos. Y no había hecho más que empezar.

Unos pocos meses antes, Cuvier había recibido unos bosquejos de un esqueleto que se había descubierto en las riberas del río Luján, al oeste de Buenos Aires. El esqueleto, de 3,6 metros de largo por casi 2 de alto, había sido enviado a Madrid, donde lo habían montado con suma laboriosidad. A partir de los dibujos, Cuvier había identificado a quién

pertenecían (una vez más, correctamente): una suerte de perezoso de tamaño descomunal. Le dio el nombre de *Megatherium*, que significa «bestia gigante». Aunque nunca había estado en Argentina, o, de hecho, en ningún lugar más allá de Alemania, Cuvier estaba convencido de que el *Megatherium* ya no podía verse desplazándose pesadamente por los ríos de Sudamérica. También esta especie había desaparecido. Lo mismo podía decirse del llamado animal de Maastricht, cuyos restos (una enorme mandíbula afilada tachonada de dientes parecidos a los del tiburón) se habían encontrado en una cantera holandesa. (Con la reciente ocupación de los Países Bajos en 1795, los franceses se habían apropiado del fósil de Maastricht.)

Y si había cuatro especies extinguidas, declaró Cuvier, debía de haber más. Era una propuesta arriesgada a la luz de la evidencia que tenía. A partir de unos pocos huesos esparcidos, Cuvier había concebido toda una nueva manera de ver la vida. Las especies también se morían. No se trataba de un hecho aislado, sino de un fenómeno extendido.

«Todos estos hechos, coherentes entre sí y que no se oponen a ningún informe, creo yo que demuestran la existencia de un mundo anterior al nuestro», concluyó Cuvier. «Pero ¿cómo era esa Tierra primitiva? ¿Y qué revolución pudo acabar con ella?»

Desde los tiempos de Cuvier, el Museo de Historia Natural se ha convertido en una gran institución con centros por toda la geografía francesa. Sin embargo, sus edificios principales todavía ocupan el lugar de los antiguos jardines reales en el quinto *arrondissement*. Cuvier no se limitó a trabajar en el museo; durante la mayor parte de su vida adulta también vivió en el mismo recinto, en una gran casa

de estuco que desde entonces se ha convertido en espacio de oficinas. Hoy, al lado de la casa hay un restaurante y junto a él una casa de fieras en la que, el día de mi visita, unos ualabíes se calentaban al sol tumbados en la hierba. Al otro lado de los jardines hay un gran edificio que acoge la colección de paleontología del museo.

Pascal Tassy es un director del museo especializado en proboscidios, el grupo que incluye los elefantes y sus parientes extintos, como los mamuts, los mastodontes y los gonfotéridos, por citar unos cuantos. Me acerqué a verlo con la promesa de que me enseñaría los mismísimos huesos que Cuvier había examinado. Encontré a Tassy en su mal iluminada oficina, en el sótano que hay debajo de la sala de paleontología, sentado en medio de un montón de cráneos digno de una morgue. Las paredes de la oficina estaban decoradas con las tapas de antiguos libros de Tintín. Tassy me explicó que había decidido ser paleontólogo a los siete años, después de leer una aventura de Tintín en una excavación.

Charlamos un rato sobre los proboscidios. «Son un grupo fascinante», me dijo. «Por ejemplo, la trompa, que es una modificación de la anatomía de la región facial realmente extraordinaria, evolucionó por separado en cinco ocasiones. En dos ocasiones, eso sería sorprendente. ¡Pero cinco y de forma independiente! Los fósiles nos obligan a aceptar que fue así.» Hasta el momento, dijo Tassy, se han identificado unas 170 especies de proboscidios, algunas de las cuales se remontan a hace 55 millones de años, «y estoy seguro de que la lista está lejos de ser completa».

Subimos las escaleras hasta un anejo unido a la parte de atrás de la sala de paleontología, como si fuera un furgón de cola. Tassy abrió la puerta que daba acceso a una pequeña habitación abarrotada de armarios de metal. En el interior de la sala, justo al lado de la puerta, había algo

parecido al pie de una sombrilla, pero peludo. Aquello, según me explicó Tassy, era la pata de un mamut lanudo que se había hallado, congelada y deshidratada, en una isla al norte de Siberia. Cuando la examiné más de cerca, pude observar que la piel de la pata había sido cosida como un mocasín. El pelo era muy oscuro, e incluso después de más de 10.000 años parecía conservarse perfectamente.

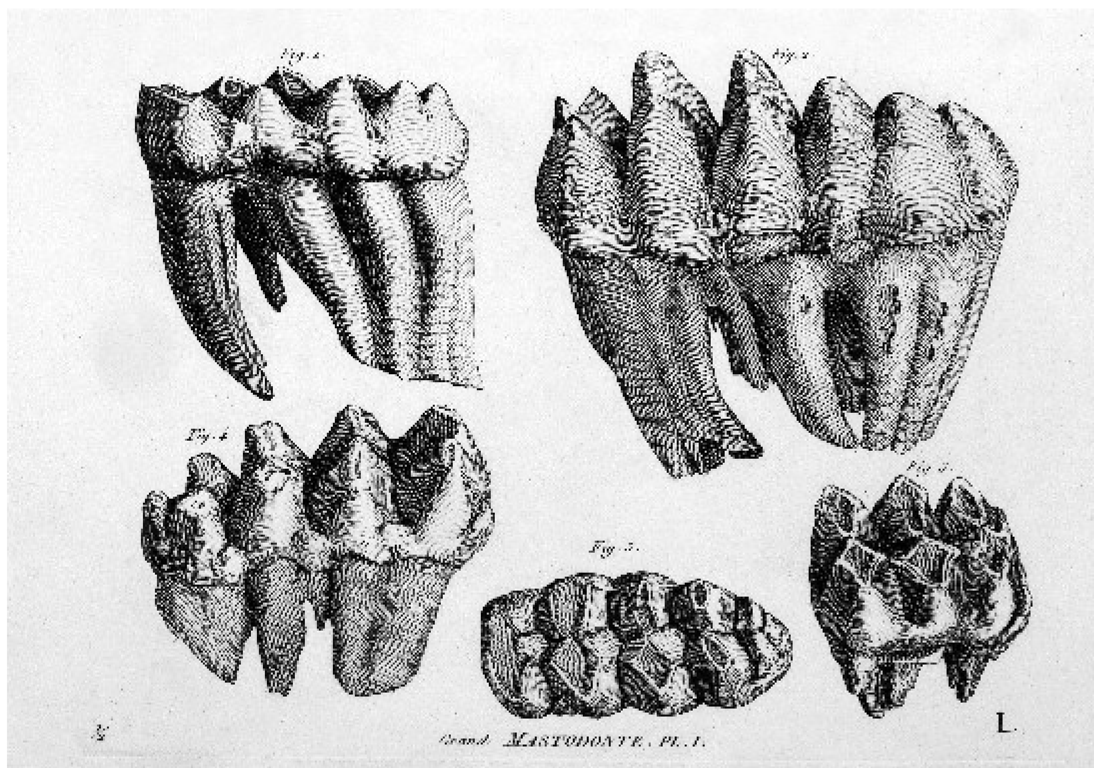
Tassy abrió uno de los armarios de metal y colocó su contenido sobre una mesa de madera. Eran los dientes que con tantas penurias Longueuil había transportado río abajo por el Ohio. Eran enormes, llenos de protuberancias y estaban ennegrecidos.

«Éste es el Mona Lisa de la paleontología», dijo Tassy mientras señalaba al más grande del grupo. «El principio de todo. Es increíble porque el propio Cuvier hizo el dibujo de este diente. Así que se lo miró con mucho detenimiento.» Tassy me hizo ver los números de catálogo originales, que habían sido pintados en los dientes en el siglo XVIII y ahora estaban tan gastados que apenas podían leerse.

Cogí con ambas manos el más grande de los dientes. Era sin duda un objeto singular. Medía unos veinte centímetros de largo por diez de ancho, el tamaño de un ladrillo, y era casi igual de pesado. Las cúspides, en cuatro grupos, era puntiagudas, y el esmalte permanecía casi intacto. Las raíces, gruesas como cuerdas, formaban una masa sólida de color caoba.

Desde una perspectiva evolutiva, en los molares de un mastodonte no hay en realidad nada de extraño. Los dientes del mastodonte, como la mayoría de los dientes de los mamíferos, están compuestos por un núcleo de dentina rodeado de una capa más dura, pero también más quebradiza, de esmalte. Hace unos 30 millones de años, el linaje de los proboscidios que daría paso a los mastodontes se separó del linaje que conduciría a los mamuts y los

elefantes. La evolución de estos últimos los llevaría con el tiempo a producir sus dientes más sofisticados, formados por placas recubiertas de esmalte y unidas en una forma un tanto parecida a la de una hogaza de pan. Esta disposición resulta ser mucho más dura, lo que permitió a los mamuts (y aún hoy a los elefantes) consumir una dieta altamente abrasiva. Los mastodontes, en cambio, mantuvieron sus molares relativamente primitivos (igual que los humanos) y siguieron masticando como siempre. Naturalmente, como Tassy me hizo notar, la perspectiva evolutiva es precisamente lo que Cuvier no tenía, lo que en cierto modo hace que sus logros sean todavía más impresionantes.




Este grabado de dientes de mastodonte fue publicado por Cuvier, acompañado de una descripción, en 1812. Paul D. Stewart/Science Source.

«Cometió errores, qué duda cabe», dijo Tassy. «Pero sus trabajos técnicos, en su mayor parte son espléndidos. Fue un anatomista realmente fantástico.»

Examinamos los dientes un rato más y luego Tassy me acompañó arriba, a la sala de paleontología. Justo detrás de la entrada, montado sobre un pedestal, se exhibía el fémur gigante que Longueuil había enviado a París. Era tan ancho como un poste. Unos escolares franceses pasaron corriendo y gritando con excitación. Tassy sostenía un gran aro de llaves, que usó para abrir varios de los cajones que había bajo las vitrinas de exposición. Me mostró un diente de mamut que Cuvier había examinado y fragmentos de varias especies también extinguidas que Cuvier había sido el primero en identificar como tales. Entonces me llevó a ver el animal de Maastricht, que aún hoy es uno de los fósiles más famosos del mundo. (Aunque los Países Bajos han solicitado en varias ocasiones que se lo devuelvan, los franceses lo retienen desde hace más de doscientos años.) En el siglo XVIII, unos creían que el fósil de Maastricht pertenecía a un extraño cocodrilo y otros que se trataba de una ballena con dientes prominentes. Cuvier, sin embargo, acabó identificándolo, una vez más correctamente, como el cráneo de un reptil marino. (Más tarde recibiría el nombre de mosasauro.)

Hacia la hora de comer, acompañé a Tassy de vuelta a su despacho. Luego paseé por los jardines de camino al restaurante que hay junto a la antigua casa de Cuvier. Como me pareció que era lo que tocaba, pedí el *Menu Cuvier*: un plato principal a elegir y un postre. Mientras me deleitaba con el postre (una deliciosa tarta de crema), comencé a sentirme incómodamente saciada. Recordé entonces una descripción de la anatomía del anatomista. Durante la Revolución, Cuvier era delgado.[10] En los años que vivió en la finca del museo, se fue haciendo más grueso y corpulento hasta que, hacia el final de su vida, era una persona obesa.

Con su conferencia sobre «las especies de elefantes, vivas y fósiles», Cuvier había conseguido establecer la extinción como un hecho. Pero su afirmación más extravagante, que había existido todo un mundo perdido, lleno de especies desaparecidas, se quedó sólo en eso. Si realmente hubiera existido un mundo como ése, debería ser posible encontrar restos de otros animales extintos. Así que Cuvier se dispuso a encontrarlos.

Por fortuna, el París de la década de 1790 era un buen lugar para ser paleontólogo. Las colinas del norte de la ciudad estaban repletas de canteras para producir yeso, el principal ingrediente de los estucos y enlucidos de París. (La capital creció de forma tan desordenada por encima de tantas minas que en tiempos de Cuvier los desplomes eran un riesgo constante.) No era raro que los mineros encontrasen huesos extraños, muy apreciados por los coleccionistas, aunque no supieran realmente qué estaban coleccionando. Con la ayuda de uno de aquellos entusiastas, Cuvier no tardó en juntar las piezas de otro animal extinto, al que llamó *l'animal moyen de Montmartre*, el animal de tamaño medio de Montmartre.

Al mismo tiempo, Cuvier no dejaba de solicitar especímenes a otros naturalistas de diferentes partes de Europa. Dada la reputación que se habían ganado los franceses de apropiarse de objetos de valor, pocos fueron los coleccionistas que le enviaron los fósiles originales. Pero comenzaron a llegarle dibujos detallados, entre otros lugares, de Hamburgo, Stuttgart, Leiden y Bolonia. «Debo decir que he sido ayudado[11] con el más ardiente entusiasmo ... por todos los franceses y extranjeros que cultivan o aman las ciencias», escribió Cuvier, agradecido.

En 1800, es decir, cuatro años después del artículo sobre el elefante, el zoo de fósiles de Cuvier había crecido hasta incluir veintitrés especies que consideraba extintas.

Entre ellas se hallaba un hipopótamo pigmeo cuyos restos había descubierto en un almacén del museo de París, un alce de enorme cornamenta cuyos huesos se encontraron en Irlanda y un gran oso, que hoy conocemos como oso de las cavernas, procedente de Alemania. Para entonces, el animal de Montmartre se había dividido, o multiplicado, en seis especies distintas. (Es poco lo que sabemos incluso hoy en día sobre estas especies, salvo que eran ungulados y vivieron hace unos treinta millones de años.) «Si se han podido recuperar tantas especies perdidas[12] en tan poco tiempo, ¿cuántas más podemos suponer que habrá todavía profundamente enterradas?», se preguntaba Cuvier.

Gracias a sus dotes para el espectáculo, mucho antes de que el museo contratara profesionales de las relaciones públicas, Cuvier ya sabía cómo captar la atención. («Hoy podría haber sido una estrella de la televisión», me dijo Tassy.) En cierto momento, las minas de yeso parisinas entregaron un fósil de un animal del tamaño de un conejo con un cuerpo estrecho y una cabeza más bien cuadrada. Basándose en la forma de sus dientes, Cuvier llegó a la conclusión de que el fósil pertenecía a un marsupial. Era una afirmación muy osada, pues no se conocía ningún marsupial del Viejo Mundo. Para aumentar el tono teatral, Cuvier anunció que sometería su identificación a una prueba pública. Los marsupiales tienen un distintivo par de huesos, hoy conocidos como «huesos epipúbicos», que se extienden desde la pelvis. Aunque estos huesos no eran visibles en el fósil tal como se le presentó, Cuvier predijo que si se rascaba un poco aparecerían los huesos en cuestión. Invitó entonces a la élite científica de París para que se reunieran y observaran cómo rascaba el fósil con la ayuda de una fina aguja, *et voilà*, aparecieron los huesos.

(En la sala de paleontología de París se exhibe un molde del fósil de marsupial; el original se considera demasiado valioso para mostrarlo y se guarda en una cámara especial.)

Cuvier dio una muestra más de su arte teatral paleontológico durante un viaje a los Países Bajos. En un museo de Haarlem, examinó un espécimen que consistía en un gran cráneo con forma de media luna unido a un fragmento de la columna vertebral. Aquel fósil, de alrededor de un metro de longitud, se había descubierto casi un siglo antes y se había identificado (curiosamente, dada la forma de la cabeza) como un humano. (Incluso se le había asignado un nombre científico: *Homo diluvii testis*, el «hombre que fue testigo del diluvio universal».) Para refutar esta identificación, Cuvier primero se agenció un esqueleto de salamandra. Luego, con la aprobación del director del museo de Haarlem, comenzó a picar la roca alrededor de la columna del «hombre del diluvio». Cuando quedaron expuestos los miembros anteriores[13] del animal fósil, resultaron tener, tal como había predicho, la misma forma que los de una salamandra. Aquel animal no era un humano antediluviano sino algo mucho más extraño: un anfibio gigante.

Cuantas más especies extintas revelaba Cuvier, más parecía cambiar la naturaleza de aquellas bestias. Los osos de las cavernas, los perezosos gigantes, incluso las salamandras gigantes, guardaban cierta relación con especies que todavía vivían. Pero ¿qué pensar de un extraño fósil hallado en una formación caliza de Bavaria? Cuvier recibió un grabado de este fósil de uno de sus muchos correspondientes. En él se podía apreciar una maraña de huesos, entre ellos lo que parecían ser brazos extrañamente largos que acababan en unos dedos delgados, así como un pico. El primer naturalista que lo examinó había conjeturado que debían de ser restos de un

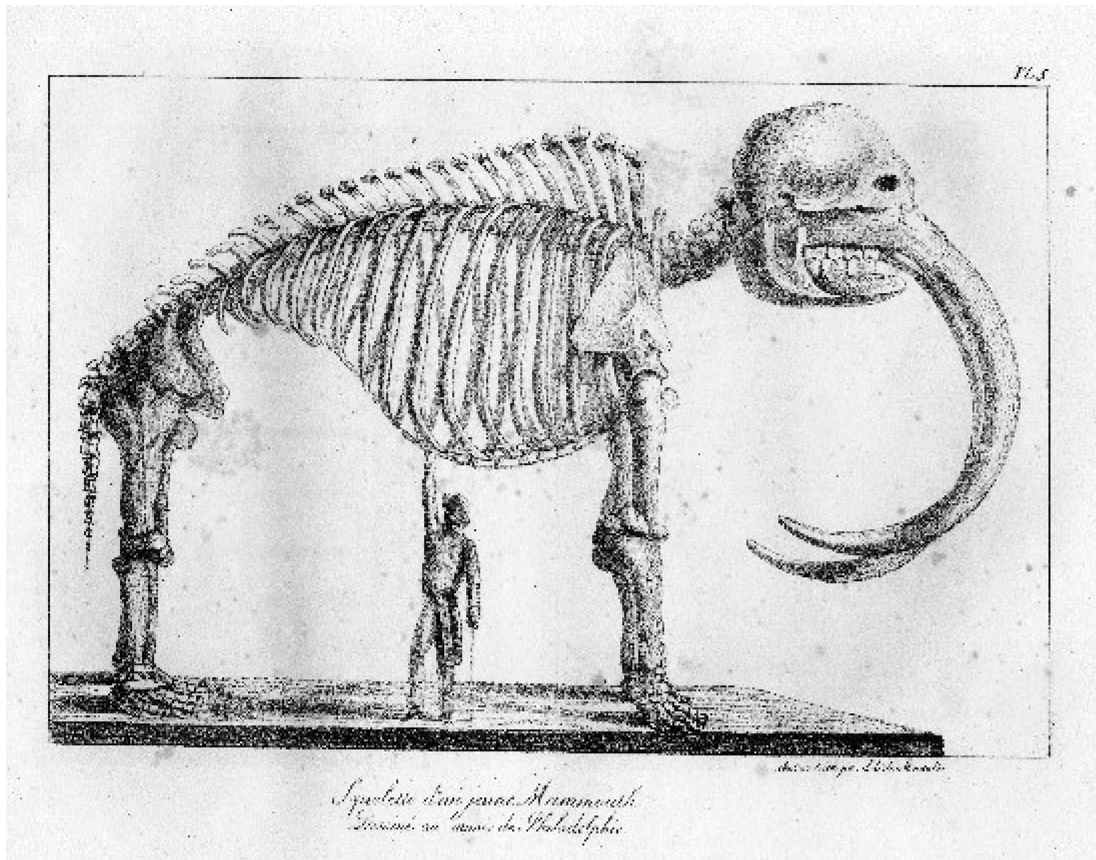
animal marino que usaba sus largos brazos como remos. A partir del examen del grabado, Cuvier determinó, sorprendentemente, que el animal era en realidad un reptil volador. Lo llamó *ptero-dáctilo*, que significa «alas en dedos».

El descubrimiento de Cuvier de la extinción, de «un mundo anterior al nuestro», fue un acontecimiento sensacional, y la noticia no tardó en cruzar el Atlántico. Cuando unos granjeros de Newburgh, en el estado de Nueva York, desenterraron un esqueleto gigante casi completo, se reconoció como un hallazgo de gran importancia. Thomas Jefferson, para entonces vicepresidente, hizo varios intentos por conseguir los huesos. Fracasó. Sin embargo, un amigo suyo todavía más persistente, el artista Charles Willson Peale, que recientemente había establecido el primer museo de historia natural de la nación, en Filadelfia, lo consiguió.

Peale, más dotado aún que Cuvier para el espectáculo, pasó meses ensamblando los huesos que había adquirido de Newburgh y fabricando las piezas que faltaban con madera y pape maché. Presentó el esqueleto al público el día de Nochebuena de 1801. Para dar publicidad a la exposición,[14] Peale hizo que su sirviente negro, Moses Williams, tocado con un penacho indio, cabalgase por las calles de Filadelfia a lomos de un caballo blanco. La bestia reconstruida se alzaba por encima de tres metros en la cruz y medía cinco metros de largo, de los colmillos a la cola, un tamaño un tanto exagerado. Los visitantes tenían que pagar cincuenta céntimos (un suma considerable en aquellos tiempos) para poder verla. Todavía no se había acordado un nombre para aquel animal (un mastodonte americano), de modo que se le conocía indistintamente como *incognitum*, animal de Ohio

y, lo más confuso de todo, mamut. Fue la primera exhibición que se convirtió en un éxito de taquilla, y desató una oleada de «fiebre del mamut». La ciudad de Cheshire, en Massachusetts,[15] produjo un «queso mamut» de 560 kilos, un panadero de Filadelfia produjo un «pan mamut» y los periódicos difundían noticias sobre un «nabo mamut», un «peral mamut» y un individuo que «comía como un mamut», capaz de «zamparse 42 huevos en diez minutos». Peale consiguió montar un segundo mastodonte con otros huesos hallados en Newburgh y otros pueblos cercanos del valle de Hudson. Tras una comida de celebración ofrecida bajo la espaciosa caja torácica del animal, envió su segundo esqueleto a Europa a cargo de dos de sus hijos. El esqueleto se exhibió durante varios meses en Londres, en el transcurso de los cuales el joven Peale decidió que los colmillos de aquellos animales debían apuntar hacia abajo, como los de una morsa. Su plan era llevar el esqueleto a París y vendérselo a Cuvier, pero cuando todavía estaban en Londres, estalló la guerra entre Gran Bretaña y Francia, lo que hizo imposible viajar entre los dos países.

Cuvier dio finalmente su nombre al *mastodonte* en un artículo publicado en París en 1806. La peculiar designación proviene del griego y significa «dientes de pecho»; al parecer, las protuberancias de los molares de este animal le recordaban los pezones. (Para entonces, el animal ya había recibido nombre científico de un naturalista alemán; lamentablemente, este nombre, *Mammut americanus*, ha perpetuado la confusión entre los mastodontes y los mamuts.)



Reproducción con permiso de Rare Book Room, Buffalo and Erie County Public Library, Buffalo, Nueva York.

Pese a las hostilidades que mantenían británicos y franceses, Cuvier consiguió obtener dibujos detallados del esqueleto que los hijos de Peale habían llevado a Londres, que le ofrecieron una imagen mucho mejor de la anatomía del animal. Comprendió que el mastodonte estaba mucho más alejado de los elefantes modernos que el mamut, y le asignó un nuevo género. (En la actualidad, los mastodontes no sólo están en su propio género, sino también en su propia familia.) Además del mastodonte americano, Cuvier identificó cuatro especies más de mastodonte, «todas ellas igualmente ajenas a la Tierra actual». Peale no supo del nuevo nombre asignado por Cuvier hasta 1809, pero en cuanto se enteró, lo abrazó sin reservas. Escribió a Jefferson[16] para proponerle un «bautizo» del esqueleto de

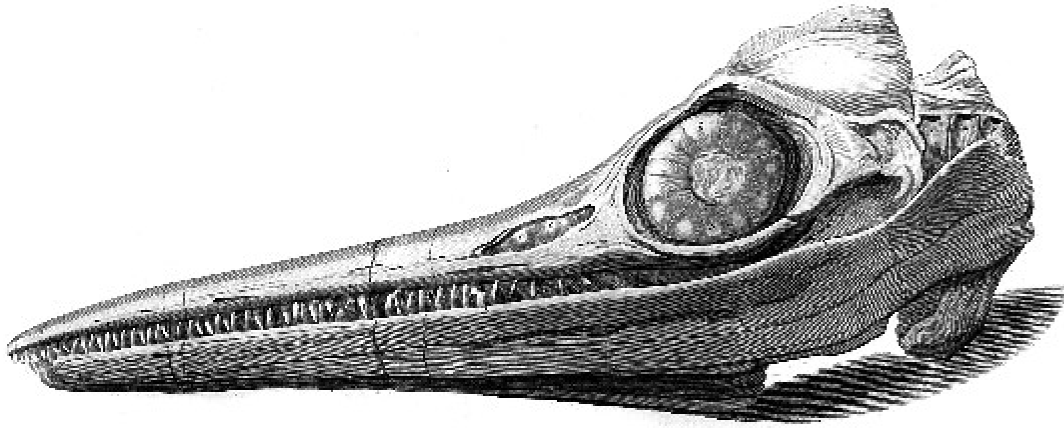
mastodonte en su museo de Filadelfia. Jefferson no se mostró muy entusiasmado[17] con el nombre que le había dado Cuvier («puede ser tan bueno como cualquier otro», comentó con desdén) y no se dignó a responder a la idea del bautizo.

En 1812, Cuvier publicó un compendio en cuatro tomos de sus trabajos sobre los animales fósiles: *Recherches sur les ossemens fossiles de quadrupèdes*. Antes de que iniciara sus «recherches», había, dependiendo de quien hiciera la cuenta, de cero a un vertebrado extinto. Gracias en buena medida a su propio trabajo, ahora había cuarenta y nueve.

A medida que la lista de Cuvier medraba, también lo hacía su prestigio. Pocos eran los naturalistas que se atrevían a anunciar sus descubrimientos en público antes de que él los hubiera refrendado. «¿No es Cuvier[18] el mayor poeta de nuestro siglo?», se preguntaba Honoré de Balzac. «Nuestro inmortal naturalista ha reconstruido mundos a partir de unos huesos blanqueados; reconstruido, como Cadmo, ciudades a partir de un diente.» Cuvier fue distinguido por Napoleón y, cuando por fin acabaron las guerras napoleónicas, fue invitado a Gran Bretaña, donde fue presentado ante la corte.

Los ingleses acogieron con entusiasmo el proyecto de Cuvier. En los primeros años del siglo XIX, coleccionar fósiles se hizo tan popular entre las clases altas que emergió toda una nueva profesión. Era «fosilista» quien se ganaba la vida buscando especímenes para sus adinerados clientes. El mismo año que Cuvier publicó sus *Recherches*, uno de aquellos fosilistas, una joven mujer llamada Mary Anning, descubrió un espécimen particularmente extravagante. El cráneo de aquel animal, hallado en los acantilados de caliza de Dorset, medía casi 1,2 metros de

largo y tenía unas mandíbulas que recordaban unos alicates de boca larga. Las cuencas de los ojos, peculiarmente grandes, estaban cubiertas por placas óseas.

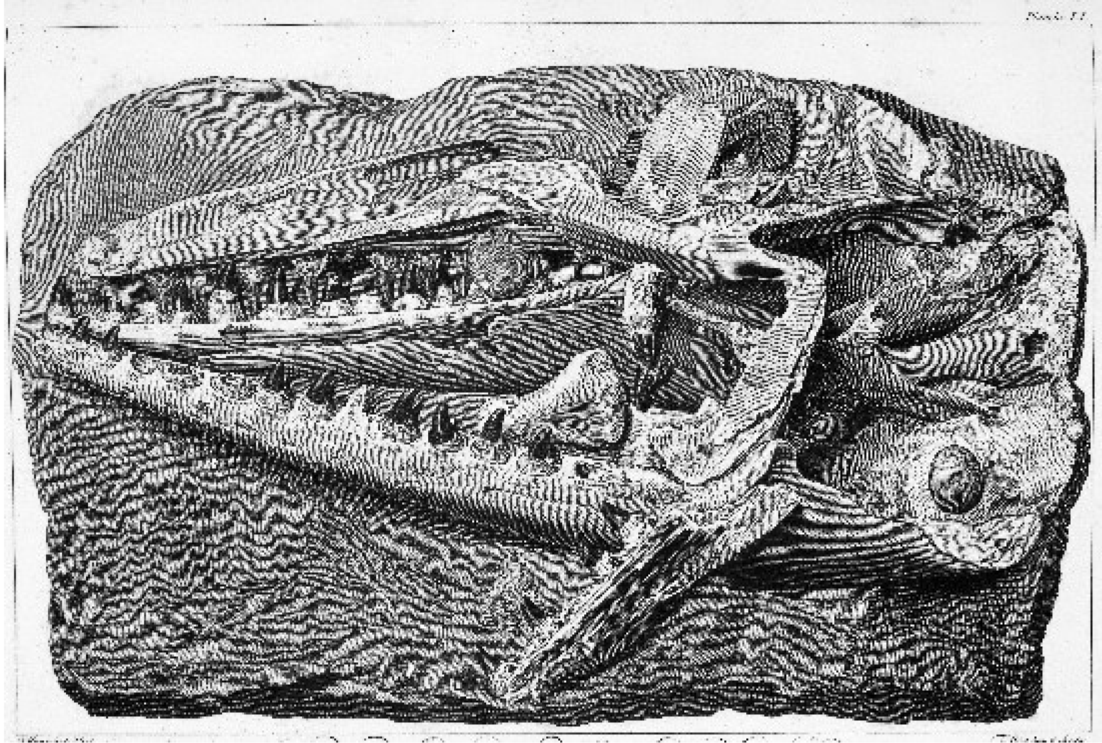


El primer fósil de ictiosaurio que se descubrió fue expuesto en la Sala Egipcia de Londres. The Granger Collection, Nueva York.

El fósil acabó en Londres en la Sala Egipcia, un museo privado no muy distinto del de Peale. Se exhibió primero como un pez y luego como un pariente del ornitorrinco antes de ser identificado como un nuevo tipo de reptil, un ictiosaurio o «pez lagarto». Unos años más tarde, otros especímenes recolectados por Anning proporcionaron fragmentos de otro animal todavía más fantástico que recibió el nombre de plesiosauro o «casi lagarto». El primer profesor de geología de Oxford, el reverendo William Buckland, describió el plesiosauro como con «la cabeza de un lagarto» unida a un cuello «semejante al cuerpo de una serpiente», con «las costillas de un camaleón y las aletas pectorales de una ballena». Enterado del hallazgo, a Cuvier la descripción del plesiosauro le pareció tan extravagante que se preguntó si no se habrían manipulado los especímenes. Cuando Anning descubrió otro fósil de plesiosauro, esta vez casi completo, Cuvier fue informado una vez más del hallazgo, y hubo de reconocer que estaba

equivocado. «No cabe esperar[19] que aparezca nada más monstruoso», le escribió a uno de sus corresponsales ingleses. Durante la visita de Cuvier a Inglaterra, se acercó a Oxford, donde Buckland le mostró un nuevo fósil extraordinario: una enorme mandíbula de la que emergía un diente curvado como una cimitarra. Cuvier identificó este animal, una vez más, como algún tipo de reptil. Décadas más tarde, se reconocería que la mandíbula pertenecía a un dinosaurio.

Por aquel entonces el estudio de la estratigrafía todavía estaba en pañales, pero ya se había comprendido que las distintas capas de las rocas se habían formado en periodos distintos. El plesiosauro, el ictiosauro y el todavía anónimo dinosaurio se habían encontrado en depósitos de caliza que se atribuían a lo que entonces se llamaba era Secundaria y hoy conocemos como era Mesozoica. A la misma era pertenecían el pterodáctilo y el animal de Maastricht. Esta pauta llevó a Cuvier a desarrollar otra idea extraordinaria sobre la historia de la vida: tenía una dirección. Las especies perdidas cuyos restos se encontraban cerca de la superficie de la Tierra, como los mastodontes y los osos de las cavernas, pertenecían a órdenes de animales que todavía vivían. Si se cavaba más hondo, se encontraban animales como el de Montmartre, que ya no tenían ningún equivalente actual obvio. Si se seguía cavando, los mamíferos desaparecían completamente del registro fósil. Y por fin se llegaba a un mundo no ya previo al nuestro, sino incluso a aquel otro, un mundo dominado por reptiles gigantes.



El animal de Maastricht todavía se exhibe en París. © The British Library Board, 39.i.15 pl.1.

Uno podría pensar que las ideas de Cuvier sobre la historia de la vida —que era larga, cambiante y llena de animales fantásticos que ya no existían— debería haberlo convertido en un defensor natural de la evolución. Sin embargo, Cuvier se oponía al concepto de evolución, o *transformismo*, como se conocía en el París de su tiempo, e intentó (al parecer, por lo general con éxito) humillar a cualquiera de sus colegas que apoyara esta teoría. Curiosamente, fueron las mismas habilidades que lo llevaron a descubrir la extinción las que hicieron que la evolución le pareciese absurda, tan inverosímil como la levitación.

Como a Cuvier le gustaba observar, depositaba su fe en la anatomía; era ésta la que le había permitido distinguir los huesos de un mamut de los de un elefante y reconocer como una salamandra gigante lo que otros habían tomado

por un hombre. En lo más hondo de su ciencia de la anatomía estaba una idea que denominaba «correlación de partes». Con ello se refería a que los componentes de un animal encajan entre sí y tienen un diseño óptimo para su particular forma de vida; así, por ejemplo, un carnívoro tendrá un sistema intestinal apropiado para digerir la carne. De igual modo, sus mandíbulas estarán

> hechas para devorar su presa;[20] las garras, para agarrarla y desgarrarla, los dientes para cortar y partir su carne; el sistema entero de sus órganos locomotores, para perseguirla y capturarla; sus órganos de los sentidos para detectarla desde lejos.

En cambio, un animal de pezuña necesariamente será herbívoro, pues carece de «medios para capturar presas». Tendrá «dientes con la corona plana, para triturar hierbas y semillas», y una mandíbula capaz de realizar movimientos laterales. Si se alterase cualquiera de estas partes, se destruiría la integridad funcional del todo. Un animal que hubiera nacido, pongamos por caso, con dientes u órganos de los sentidos que fuesen de algún modo distintos de los de sus progenitores no podría sobrevivir, cuando menos dar origen a todo un nuevo tipo de organismo.

En tiempos de Cuvier, el más destacado defensor del *transformismo* era uno de sus superiores en el Museo de Historia Natural: Jean-Baptiste Lamarck. Para Lamarck, existía una fuerza, la «fuerza de la vida», que empujaba a los organismos a hacerse cada vez más complejos. Al mismo tiempo, los animales, pero también las plantas, a menudo tenían que enfrentarse a cambios en su entorno, y lo hacían ajustando sus hábitos. Estos hábitos, a su vez, producían modificaciones físicas que luego eran transmitidas a su descendencia. Las aves que buscaban sus presas en los lagos extendían los dedos al tocar el agua, y de este modo con el tiempo habían desarrollado membranas

interdigitales y se habían convertido en patos. Los topos, al mudarse a vivir bajo el suelo, habían dejado de usar la vista, de manera que con el paso de las generaciones sus ojos se habían tornado pequeños y débiles. Lamarck, por su parte, se oponía ardientemente a la idea de Cuvier de la extinción; no podía imaginar ningún proceso capaz de acabar completamente con un organismo. (Curiosamente, la única excepción que consideraba era la propia humanidad, la cual, según concedía Lamarck, era capaz de exterminar ciertos animales de tamaño grande y reproducción lenta.) Lo que Cuvier interpretaba como *espèces perdues*, para Lamarck eran sencillamente aquellas que se habían transformado de una manera más drástica.

A Cuvier la parecía absurda la idea de que los animales pudieran cambiar a conveniencia su tipo corporal. Se burlaba de la idea de que «los patos, a fuerza de bucear,[21] se convirtieron en lucios; los lucios, a fuerza de saltar sobre la tierra, se convirtieron en patos; las gallinas que buscaban su alimento en las riberas, al esforzarse por no mojar los muslos, lograron alargar tan bien sus patas que se convirtieron en garzas o en cigüeñas». Cuvier descubrió lo que, al menos a su entender, era la prueba definitiva contra el *transformismo* en una colección de momias.

Cuando Napoleón invadió Egipto, los franceses, como era su costumbre, se habían apoderado de todo cuanto les había interesado. Entre las cajas del botín[22] que enviaron a París había un gato embalsamado. Cuvier examinó la momia en busca de señales de transformación. No halló ninguna. Aquel antiguo gato egipcio era, desde un punto de vista anatómico, indistinguible de cualquier gato callejero de París. Aquello demostraba que las especies era fijas. Lamarck objetó[23] que los pocos miles de años que habían

transcurrido desde que se había embalsamado el gato egipcio representaban «una duración infinitamente pequeña» en comparación con la vastedad del tiempo.

«Sé que algunos naturalistas[24] se amparan mucho en los miles de siglos que amontonan con un trazo de su pluma», respondió Cuvier desdeñosamente. Llegado el momento, Cuvier recibió el encargo de escribir un panegírico para Lamarck, lo cual hizo más con el espíritu de enterrar que con el de alabar. De acuerdo con Cuvier, Lamarck había sido un soñador. Al igual que «los palacios encantados[25] de nuestros viejos romances», sus teorías se habían construido sobre «cimientos imaginarios», y aunque pudieran «entretener la imaginación de un poeta», no podían «de ningún modo resistir el examen de quien haya realizado la disección de una mano, una víscera o siquiera una pluma».

Tras descartar el *transformismo*, Cuvier se quedó con una enorme laguna. No tenía ninguna explicación de cómo aparecían los nuevos organismos, ni de cómo el mundo podía haber acabado poblado por distintos grupos de organismos en distintos momentos. Pero no parece que eso lo preocupase en absoluto. Al fin y al cabo, lo que le interesaba no era tanto el origen de las especies como su desaparición.

La primera vez que habló sobre el tema, Cuvier dio a entender que conocía la fuerza que había detrás de la extinción, aunque no el mecanismo exacto. En su conferencia sobre «las especies de elefantes, vivas y fósiles», había propuesto que el mastodonte, el mamut y el *Megatherium* habían desaparecido a causa «de algún tipo de catástrofe». Cuvier dudó en especular sobre la naturaleza precisa de aquella calamidad («No debe

concernirnos el vasto campo de conjeturas que se abre con estas cuestiones», dijo), pero al parecer por aquel entonces creía que habría bastado con un solo desastre.

Más tarde, al crecer su lista de especies extintas, modificó su posición. Decidió entonces que se habían producido varios cataclismos. «La vida en la Tierra se ha visto perturbada con frecuencia por acontecimientos terribles», escribió. «Innumerables organismos vivos[26] perecieron víctimas de estas catástrofes.»

Al igual que sus ideas sobre el *transformismo*, la creencia de Cuvier en los cataclismos encajaba en sus convicciones sobre la anatomía, incluso podría decirse que se seguía de éstas. Como los animales eran unidades funcionales, idealmente ajustados a sus circunstancias, no había ninguna razón por la cual, en el curso normal de los acontecimientos, debieran extinguirse. Ni siquiera los más devastadores eventos conocidos en el mundo contemporáneo, como las erupciones volcánicas o los incendios forestales, bastaban para explicar la extinción; enfrentados a tales cambios, los organismos sencillamente se desplazaban[27] y sobrevivían. Por consiguiente, los cambios que habían causado extinciones debían haber sido de una magnitud mucho mayor, tanto que los animales no habían sido capaces de sobreponerse a ellos. Que ni él ni ningún otro naturalista hubiese observado eventos tan extremos era una indicación más de la mutabilidad de la naturaleza: en el pasado, había operado de un modo distinto, de una manera más intensa y violenta que en el tiempo presente.

«Se ha roto el hilo de las operaciones», escribió Cuvier. «La naturaleza ha cambiado de curso, y ninguno de los agentes que emplea en la actualidad habría bastado para producir sus obras de antaño.» Cuvier pasó varios años estudiando las formaciones rocosas de los alrededores de

París (junto a un amigo, produjo el primer mapa estratigráfico de la cuenca de París) y también aquí vio señales de cambios cataclísmicos. Las rocas enseñaban que la región había estado sumergida en distintos momentos. Los cambios de un ambiente a otro (de terrestre a marino, o, en otras ocasiones, de aguas marinas a aguas continentales) no habían sido, en opinión de Cuvier, «lentas de ningún modo»; al contrario, habían sido causados por súbitas «revoluciones de la superficie de la Tierra». La más reciente de estas revoluciones debía de haberse producido en tiempos relativamente recientes, pues todavía quedaban restos de ella en muchos lugares. Este evento, creía Cuvier, se hallaba justo en los límites de nuestra historia; había observado que muchos mitos y leyendas, incluido el Viejo Testamento, aludían a algún tipo de crisis, a menudo un diluvio, que precedió al orden presente.

Las ideas de Cuvier sobre un mundo asolado periódicamente por cataclismos resultó ser casi tan influyente como sus descubrimientos originales. Su principal ensayo sobre el tema, que se publicó en francés en 1812, fue editado casi de inmediato en inglés y exportado a Estados Unidos. También apareció en alemán, sueco, italiano, ruso y checo. Pero buena parte se perdió, o al menos se malinterpretó, en las traducciones. El ensayo de Cuvier era decididamente secular. Citaba la Biblia como una más (y no del todo fiable) entre tantas otras obras antiguas, junto a los Vedas hindúes y los *Shujing*. Esta suerte de ecumenismo resultaba inaceptable para el clero anglicano que constituía los cuerpos docentes de instituciones como Oxford, de manera que cuando el ensayo se tradujo al inglés, Buckland y otros lo reinterpretaron como una prueba del diluvio universal.

En la actualidad, la mayoría de los fundamentos empíricos de la teoría de Cuvier se han rechazado. Los indicios físicos que los convencieron de una «revolución» justo antes de nuestra historia (y las que los ingleses interpretaron como prueba del diluvio universal) eran, en realidad, restos dejados por la última glaciación. La estratigrafía de la cuenca de París no refleja «irrupciones» repentinas de agua sino más bien cambios graduales en el nivel del mar y los efectos de la tectónica de placas. En todas estas cuestiones, según sabemos hoy, Cuvier se había equivocado.

Por otro lado, algunas de las afirmaciones de Cuvier que entonces sonaban más extravagantes han resultado ser sorprendentemente precisas. La vida en la Tierra se ha visto, en efecto, perturbada por «acontecimientos terribles», de los que han sido víctimas «innumerables organismos». Esos eventos no se pueden explicar por las fuerzas, o «agentes», que actúan en nuestros días. La naturaleza, a veces, «cambia de curso», y en esos momentos es como si se hubiera roto «el hilo de las operaciones».

Por lo que se refiere al mastodonte americano, Cuvier resultó tener razón, y con una precisión casi inexplicable. Decidió que aquella bestia había desaparecido hace unos 5.000 o 6.000 años, en la misma «revolución» que había matado al mamut y al *Megatherium*. En realidad, el mastodonte se desvaneció hace unos 13.000 años. Su eclipse formó parte de una oleada de desapariciones que hoy conocemos como extinción de la megafauna. Esta oleada coincidió con la expansión de los humanos modernos, la cual se interpreta cada vez más como su causa. En este sentido, la crisis que Cuvier había discernido justo en los límites de nuestra historia fuimos nosotros mismos.

# 3

# El pingüino original

*Pinguinus impennis*

El término «catastrofista» fue acuñado en 1832 por William Whewell, uno de los primeros presidentes de la Sociedad Geológica de Londres, quien también legó al inglés «ánodo», «cátodo», «ion» y «científico». Aunque con el tiempo el término adquiriría connotaciones peyorativas que se le pegarían como la brea, no era esa la intención de Whewell. Cuando propuso el término,[1] dejó muy claro que él mismo se consideraba «catastrofista», y que la mayoría de los científicos que conocía también lo eran. De hecho, sólo conocía una persona que no se ajustaba a la etiqueta, y esa persona era el joven y prometedor geólogo Charles Lyell. Para describirlo, a Whewell se le ocurrió otro neologismo. Lo llamó «uniformista».

Lyell se había criado[2] en el sur de Inglaterra, en un mundo que resultaría familiar a los seguidores de Jane Austen. Luego estudió en Oxford, donde se formó en derecho. Sus problemas con la vista le dificultaban el ejercicio de las leyes, y en su lugar se dedicó a las ciencias naturales. De joven, Lyell realizó varios viajes al continente y entabló amistad con Cuvier, en cuya casa cenaba con cierta frecuencia. El viejo le pareció «muy atento»[3] (Cuvier le permitió hacer moldes de varios fósiles famosos para

llevárselos a Inglaterra), pero la visión que Cuvier tenía de la historia de la Tierra a Lyell le parecía poco o nada convincente.

Cuando Lyell observaba (cabe admitir que con cierta miopía) los afloramientos rocosos de la campiña inglesa, los estratos de la cuenca de París o las islas volcánicas cercanas a Nápoles, no veía indicio alguno de cataclismos. De hecho, veía justo lo contrario: le parecía poco científico (o, como él decía, «poco filosófico») imaginar que en cualquier otro tiempo en el mundo se hubieran producido cambios por razones distintas o a ritmos distintos que en los tiempos actuales. Para Lyell, todas las características del paisaje eran el resultado de procesos muy graduales que habían actuado a lo largo de miles de años, procesos como la sedimentación, la erosión y el vulcanismo, todos los cuales podemos observar fácilmente en nuestros tiempos. Para muchas generaciones de estudiantes de geología, la tesis de Lyell se resumiría en que «el presente es la clave del pasado».

Por lo que atañe a la extinción, también ésta, al parecer de Lyell, se había producido a un ritmo muy lento, tanto que, en un tiempo y lugar determinados, no sería raro que pasara desapercibida. Los indicios fósiles, que parecían sugerir que en varios momentos las especies se habían extinguido en masa, sólo indicaban que el registro no era fiable. Incluso la idea de que la historia de la vida tuviera una dirección (primero reptiles, luego mamíferos) le parecía equivocada, otra inferencia errónea extraída de unos datos inadecuados. En todas las eras habían existido todo tipo de organismos, y aquellos que en apariencia se habían ido para siempre podían, si se daban las condiciones adecuadas, aparecer de nuevo. Por consiguiente, «el gigantesco iguanodonte[4] podría reaparecer en los bosques, y el ictiosauro en los mares, en tanto que el pterodáctilo

podría volar de nuevo bajo el umbrío dosel de los helechos arborescentes». Está claro, escribió Lyell, «que no hay en los datos de la geología fundamento alguno para la teoría[5] popular del desarrollo sucesivo del mundo animal y vegetal».

Lyell publicó sus ideas en tres gruesos volúmenes, *Principios de geología: Un intento de explicar los cambios pasados de la superficie de la Tierra por referencia a causas que operan en el presente*. La obra estaba dirigida a un público general, que lo acogió con entusiasmo. La primera impresión, de 450 ejemplares, se vendió enseguida, y se encargó entonces una segunda impresión de 9.000 ejemplares. (En una carta a su prometida, Lyell se vanagloriaba[6] de que aquello era «al menos diez veces más» que el número de libros que cualquier otro geólogo inglés hubiera vendido en el pasado.) Lyell se convirtió en una suerte de celebridad, el Steven Pinker de su generación y, cuando pronunció una conferencia en Boston,[7] intentaron conseguir entrada más de 4.000 personas.

En bien de la claridad (y de una lectura amena), Lyell había caricaturizado a sus oponentes haciendo que pareciesen bastante «menos filosóficos» de lo que en realidad eran. Pero le devolvieron el favor. Un geólogo británico llamado Henry De la Beche, que tenía cierto talento para el dibujo, se burló de las ideas de Lyell sobre el eterno retorno. Dibujó una viñeta[8] en la que Lyell aparecía con la forma de un ictiosauro miope que señalaba un cráneo humano mientras daba su lección a un grupo de reptiles gigantes.

«Percibirán ustedes de inmediato —les decía el Profesor Ictiosauro a sus pupilos en el pie de la viñeta— que el cráneo que tenemos aquí perteneció a alguno de los órdenes inferiores de los animales; sus dientes son

insignificantes, la potencia de sus mandíbulas ínfima y, en fin, parece increíble que esta criatura pudiera siquiera procurarse alimento.» De la Beche tituló su viñeta «Cambios terribles».




Hulton Archive/Getty Images.

Entre los lectores que consiguieron un ejemplar de los *Principios* estaba Charles Darwin. Con veintidós años y recién salido de Cambridge, Darwin había sido invitado a servir como una especie de acompañante de caballero para el capitán del HMS *Beagle*, Robert FitzRoy. El buque se dirigía a América del Sur para explorar la costa y resolver varias discrepancias cartográficas que dificultaban la navegación. (El almirantazgo estaba especialmente interesado en determinar la mejor ruta al archipiélago de las Malvinas, que los británicos habían pasado a controlar

recientemente.) El periplo, que al acabar encontró a Darwin con veintisiete años, lo llevó de Plymouth a Montevideo y allí, a través del estrecho de Magallanes, hasta las islas Galápagos, atravesando el Pacífico Sur hasta Tahití, de allí a Nueva Zelanda, Australia y Tasmania y, tras cruzar el océano Índico y doblar el cabo de Buena Esperanza, de vuelta a América del Sur. En la imaginación popular, este viaje suele verse como el periodo en que Darwin, tras encontrarse con una surtida variedad de tortugas gigantes, lagartos marinos y pinzones con picos de todas las formas y tamaños imaginables, descubrió la selección natural. De hecho, Darwin no desarrolló su teoría[9] hasta su regreso a Inglaterra, a medida que otros naturalistas fueron poniendo orden a la confusión de especímenes que Darwin había ido enviando.

Sería más preciso describir el viaje del *Beagle* como el periodo en el que Darwin descubrió a Lyell. Poco tiempo después de que zarpara el barco, FitzRoy le regaló a Darwin el volumen primero de los *Principios*. Aunque durante el primer trayecto del viaje estuvo terriblemente mareado (igual que en muchos otros trayectos posteriores), Darwin explicó que había leído a Lyell «con suma atención» mientras el buque se dirigía al sur. El *Beagle* hizo su primera parada en St. Jago (hoy Santiago) en las islas de Cabo Verde, y Darwin, ansioso por poner en práctica sus nuevos conocimientos, pasó varios días recolectando especímenes de sus acantilados rocosos. Una de las tesis centrales de Lyell era que algunas áreas de la Tierra se estaban levantando gradualmente al tiempo que otras, también de forma gradual, se estaban hundiendo. (Lyell también sostenía[10] que estos fenómenos siempre estaban en equilibrio para así «preservar la uniformidad de las relaciones generales de tierras y mares».) St Jago parecía demostrar este extremo. La isla tenía un origen claramente

volcánico, pero presentaba varias características curiosas, entre ellas una franja de caliza blanca a media altura de los oscuros acantilados. Darwin llegó a la conclusión de que la única manera de explicar estas características era como indicio de levantamiento. Más tarde escribiría que el primero de los lugares «cuya geología exploré me convenció de la infinita superioridad de los puntos de vista de Lyell». Tal fue la impresión que provocó en Darwin el primer volumen de los *Principios* que dispuso que le enviasen el segundo volumen a Montevideo, donde lo recogería. Al parecer, el tercer volumen le alcanzó en las Malvinas.[11]

Mientras el *Beagle* navegaba por la costa oeste de América del Sur, Darwin dedicó varios meses a explorar Chile. Una tarde, cuando descansaba después de una excursión cerca de la ciudad de Valdivia, el suelo bajo sus pies comenzó a temblar como si fuera de gelatina. «Un segundo de tiempo transmite a la mente una extraña idea de inseguridad que horas de reflexión no llegarían a crear», escribió. Varios días después del terremoto, al llegar a Concepción, Darwin descubrió que la ciudad entera había quedado reducida a ruinas. «Es del todo cierto, no ha quedado ni una sola casa habitable», diría. Aquella escena fue «el espectáculo más horrendo pero más interesante» que había presenciado nunca. Una serie de mediciones de prospección cartográfica realizadas por FitzRoy alrededor del puerto de Concepción demostraron que el terremoto había elevado la playa casi dos metros y medio. Una vez más, los *Principios* de Lyell parecían confirmarse de una forma espectacular. Dado el tiempo suficiente, argumentaba Lyell, una sucesión de terremotos podía levantar una montaña entera miles de metros.

Cuanto más exploraba el mundo, más lyelliano le parecía a Darwin. Fuera del puerto de Valparaíso encontró depósitos de conchas marinas lejos del nivel del mar. Interpretó éstas como el resultado de muchos episodios de levantamiento como el que acababa de presenciar. «Siempre he creído que el gran mérito de los *Principios* era que alteraba por completo el tono de la mente de uno», escribiría más tarde. (Durante su estancia en Chile, Darwin también descubrió una especie nueva y bastante notable de rana, que más tarde recibiría el nombre de rana de Darwin. Los machos de esta especie incubaban sus renacuajos en los sacos vocales. Las búsquedas recientes[12] no han conseguido dar con ninguna de estas ranas, y hoy se cree que la especie se ha extinguido.)

Hacia el final del viaje del *Beagle*, Darwin se encontró con arrecifes de coral, y éstos le proporcionaron su primera gran idea original, tan sorprendente que facilitaría su entrada en los círculos científicos londinenses. Darwin intuyó que la clave para entender los arrecifes de coral era la interacción entre la biología y la geología. Si se formaba un arrecife alrededor de una isla o a lo largo de una costa continental que se estuvieran hundiendo paulatinamente, los corales, con su lento crecimiento hacia arriba, podrían mantener su posición con relación al nivel del agua. De manera gradual, a medida que la tierra se fuese hundiendo, los corales formarían un arrecife de barrera. Si, con el tiempo, la tierra se hundía completamente, el arrecife formaría un atolón.

La explicación de Darwin iba más allá de las tesis de Lyell, que hasta cierto punto contradecía; la hipótesis que éste mantenía era que los arrecifes crecían sobre los márgenes del cráter de volcanes sumergidos. Pero las ideas de Darwin eran tan lyellianas en su naturaleza que cuando, a su regreso a Inglaterra, se las presentó a Lyell,[13] éste se

mostró complacido. En palabras del historiador de la ciencia Martin Rudwick, Lyell «reconoció que Darwin[14] había sido más lyelliano que él mismo».

Un biógrafo resumió la influencia de Lyell sobre Darwin del siguiente modo: «Sin Lyell[15] no habría habido Darwin». El propio Darwin, tras publicar su relato del viaje en el *Beagle* y una obra sobre los arrecifes coralinos, escribió: «Siempre me ha parecido como si mis libros hubieran medio salido del cerebro de Lyell».

Lyell, que veía el cambio continuo y todo a su alrededor, puso la frontera en la vida. Que una especie de planta o animal pudiera, con el tiempo, dar lugar a otra nueva le parecía impensable, y dedicó buena parte del segundo volumen de los *Principios* a atacar esa idea, citando en cierto pasaje el experimento de Cuvier con la momia de gato para respaldar su objeciones.

La apasionada oposición de Lyell a la transmutación, como se la conocía en Londres, es casi tan desconcertante como la de Cuvier. Lyell sabía que con frecuencia aparecían especies nuevas en el registro fósil, pero el modo en que éstas se originaban es algo que nunca llegó a abordar, salvo para decir que probablemente cada una de ellas había comenzado con «una simple pareja,[16] o individuo, cuando un individuo bastase» y a partir de allí se habrían multiplicado y expandido. Este proceso, que parecía depender de una intervención divina, o por lo menos oculta, entraba claramente en desacuerdo con los preceptos que había establecido para la geología. De hecho, como un crítico observó, parecía requerir «exactamente el tipo de milagro»[17] que Lyell había rechazado.

Con su teoría de la selección natural, Darwin una vez más había sido «más lyelliano» que Lyell. Darwin comprendió que del mismo modo que las características del mundo inorgánico (los deltas, los valles fluviales, las cadenas montañosas) se formaban a través de cambios graduales, también el mundo orgánico estaba sometido a un flujo constante. Ictiosauros y plesiosauros, aves y peces, y, lo más incómodo de todo, los humanos, se habían formado por un proceso de transformación que había tenido lugar a lo largo de incontables generaciones. Este proceso, aunque imperceptiblemente lento, para Darwin todavía estaba en marcha; en la biología, como en la geología, el presente era la clave del pasado. En uno de los pasajes más citados de *El origen de las especies*, Darwin escribió:

> Puede decirse que[18] la selección natural está buscando cada día y cada hora por todo el mundo las más ligeras variaciones; rechazando las que son malas; conservando y sumando todas las que son buenas; trabajando silenciosa e insensiblemente, cuandoquiera y dondequiera que se ofrece la oportunidad.

La selección natural eliminó la necesidad de cualquier tipo de milagro creativo. Dado el tiempo suficiente para que «las más ligeras variaciones» se acumulen, aparecerán especies nuevas a partir de las antiguas. Esta vez Lyell no corrió a aplaudir la obra de su protegido. Sólo a regañadientes aceptó la teoría de Darwin de «descendencia con modificación», tan a regañadientes, de hecho, que al parecer su posición acabó por arruinar su amistad.

La teoría de Darwin sobre el modo en que se originaron las especies también servía para explicar cómo desaparecían. La extinción y la evolución eran la trama y la urdimbre del tejido de la vida o, si se prefiere, las dos caras de una misma moneda. «La aparición de formas nuevas[19] y la desaparición de formas viejas», escribió Darwin, «están

ligadas entre sí». Detrás de ambas estaba la «lucha por la existencia», que recompensaba a las formas mejor ajustadas a su medio al tiempo que eliminaba a las peor ajustadas.

> La teoría de la selección natural[20] está fundada en la creencia de que cada nueva variedad, y, finalmente, cada nueva especie, está producida y mantenida por tener alguna ventaja sobre aquellas con las que entra en competencia, y de que casi inevitablemente sigue la extinción consiguiente de las formas menos favorecidas.

Darwin utilizaba la analogía con el ganado vacuno. Cuando se introducía una variedad más vigorosa o productiva, enseguida suplantaba a las otras razas. Señalaba que en Yorkshire, por ejemplo, «Se sabe históricamente que el antiguo ganado vacuno negro fue desalojado por el de cuernos largos», y éste fue posteriormente «barrido» por el de cuernos cortos, «como por una peste mortal».

Darwin hacía hincapié en la simplicidad de su explicación. La selección natural era una fuerza tan potente que no se necesitaba de ninguna otra. Junto a los orígenes divinos, podían descartarse también las catástrofes que alteraban el mundo. «La extinción de las especies ha sido rodeada del más injustificado misterio», escribió, como una burla implícita a Cuvier.

De las premisas de Darwin se seguía una importante predicción. Si el motor de la extinción era la selección natural y *nada más* que la selección natural, los dos procesos tenían que ocurrir más o menos al mismo ritmo. Si acaso, la extinción tendría que ser algo más gradual.

«Hay motivos para creer que la extinción de un grupo entero[21] de especies es, generalmente, un proceso más lento que su producción», observó en cierto pasaje.

Nadie había presenciado nunca la aparición de una nueva especie ni, a decir de Darwin, debiera esperar presenciarla. La especiación era un proceso tan prolongado

que, a todos los efectos, era imposible observarla. «Nada vemos de estos cambios lentos y progresivos», escribiría. Era razonable pensar que la extinción fuese aún más difícil de presenciar. Pero no era así. De hecho, durante los años que Darwin pasó encerrado en Down House, desarrollando sus ideas sobre la evolución, desaparecían los últimos individuos de una de las especies más célebres de Europa, el alca gigante. Y lo que es más, el acontecimiento fue descrito con todo detalle por ornitólogos británicos. Aquí la teoría de Darwin quedaba directamente contradicha por los hechos, con implicaciones potencialmente profundas.

* * *

El Instituto Islandés de Historia Natural ocupa un edificio nuevo en una solitaria colina a las afueras de Reikiavik. El edificio tiene un tejado y paredes de cristal inclinados y recuerda un poco a la proa de un barco. Fue diseñado como instituto de investigación, sin acceso al público, por lo que es necesario concertar una cita especial para ver cualquiera de los especímenes que alberga la colección del instituto. Estos especímenes, como aprendí en el día de mi propia cita, incluyen: un tigre disecado, un canguro disecado y un gabinete lleno de aves del paraíso disecadas.

Pero si concerté una visita al instituto fue para ver el alca gigante. Islandia goza de la dudosa distinción de ser el último hogar conocido de aquella ave, y el espécimen que había ido a ver fue matado en algún lugar del país (nadie conoce el sitio exacto) en el verano de 1821. El cuerpo del ave fue comprado por un conde danés, Frederik Christian Raben, que había llegado a Islandia con la expresa intención de adquirir un alca para su colección (y casi se ahoga en el intento). Raben se llevó el espécimen de vuelta a su castillo, y estuvo en manos privadas hasta 1971, cuando se ofreció en subasta en Londres. El Instituto de

Historia Natural solicitó donaciones, y en tres días los islandeses habían aportado el equivalente a 10.000 libras británicas para recuperar el alca. (Una mujer con la que conversé, que para entonces tenía diez años, recordaba haber vaciado su hucha para contribuir.) Icelandair ofreció[22] dos asientos libres para el viaje, uno para el director del instituto y el otro para la caja que contenía el ave.

Guðmundur Guðmundsson, que actualmente ocupa la posición de subdirector del instituto, fue el encargado de mostrarme el ave. Guðmundsson es un experto en foraminíferos, unos minúsculos organismos marinos que forman unas conchas de formas muy elaboradas que reciben el nombre de «testas». De camino a ver el ave paramos en su oficina, que estaba repleta de cajas llenas de pequeños tubos de vidrio, cada uno de los cuales contenía una muestra de testas que tintineaban como una lluvia cuando los sacudía. Guðmundsson me explicó que en su tiempo libre se dedicaba a la traducción. Unos pocos años antes había acabado la primera versión islandesa de *El origen de las especies*. La prosa de Darwin le había parecido bastante difícil, con «frases dentro de frases dentro de frases», y el libro, *Uppruni Tegundanna*, no se había vendido bien, quizá porque muchos islandeses leen el inglés con soltura.

Nos dirigimos al almacén donde se guardaba la colección del instituto. El tigre disecado, envuelto en plástico, parecía estar a punto de saltar sobre el canguro disecado. El alca gigante (*Pinguinus impennis*) se hallaba apartada en su propia caja de plexiglás. Se erguía sobre una falsa roca, al lado de un falso huevo.

Como el nombre sugiere, el alca gigante era un ave de grandes dimensiones; los adultos crecían hasta más de 0,75 metros de altura. Las alcas no podía volar (eran una de las

pocas aves no voladoras del hemisferio norte) y sus cortas y gruesas alas tenían un tamaño casi ridículo en comparación con el cuerpo. La de la caja tenía plumas marrones en el dorso; probablemente fuesen negras cuando el ave vivía, pero se habían descolorido desde entonces. «La luz ultravioleta —me explicó Guðmundsson con tristeza— destruye el plumaje.» Las plumas del pecho del alca eran blancas, y había también una mancha blanca debajo de cada uno de los ojos. El ave había sido disecada con su característica más distintiva, su largo e intrincado pico con surcos, apuntando ligeramente hacia arriba. Eso le daba un aire de apenada altivez.

Guðmundsson me explicó que el alca gigante se había exhibido en Reikiavik hasta 2008, cuando el instituto fue reestructurado por el gobierno islandés. En aquel momento, se suponía que otra agencia se haría cargo de crear un nuevo hogar para el ave, pero una serie de dificultades, entre ellas la crisis financiera de Islandia, habían impedido que ocurriese así, y por eso ahora el alca del conde Raben descansaba sobre su falsa roca en aquel rincón del almacén. Sobre la roca había pintada una inscripción que Guðmundsson me tradujo: EL AVE QUE AQUÍ SE EXHIBE FUE MATADA EN 1821. ES UNA DE LAS POCAS ALCAS GIGANTES QUE TODAVÍA EXISTEN.

Durante su época gloriosa, o lo que es lo mismo, antes de que los humanos descubriesen cómo llegar a sus áreas de nidificación, el alca gigante se extendía de Noruega a Terranova y de Italia a Florida, y su población probablemente se contase por millones. Cuando llegaron a Islandia los primeros pobladores procedentes de Escandinavia, las alcas gigantes eran tan comunes que era habitual comerlas, y se han encontrado restos de las aves en el equivalente del siglo X de la basura doméstica.

Durante mi estancia en Reikiavik visité un museo construido sobre las ruinas de lo que se considera una de las estructuras más antiguas de Islandia, una casa comunal construida con tiras de turba. Según una de las muestras del museo, el alca gigante era una «presa fácil» para los habitantes de la Islandia medieval. Además de un par de huesos de alca, la muestra incluía una recreación en vídeo de uno de aquellos primeros encuentros entre el hombre y el ave. En el vídeo, una figura oscura trepaba por una costa rocosa acercándose a un alca también oscura. Cuando se aproximaba lo suficiente, la figura extraía un palo y golpeaba al animal en la cabeza. El alca respondía con un grito a medio camino entre un graznido y un gruñido. El vídeo me pareció tan fascinante como deprimente y lo vi entero media docena de veces. Trepar, golpear, gritar. Otra vez.

Por lo que sabemos, las alcas vivían más o menos como hoy viven los pingüinos. De hecho, las alcas gigantes son los «pingüinos» originales. Así las llamaron (la etimología de «pingüino» es incierta y tal vez, sólo tal vez, pueda remontarse al latín *pinguis*, que significa «grasa») los navegantes europeos cuando se las encontraron en el Atlántico norte. Más tarde, cuando generaciones posteriores de navegantes hallaron unas aves no voladoras de coloración parecida en el hemisferio sur, usaron el mismo nombre, lo que llevó a mucha confusión, pues las alcas y los pingüinos pertenecen a familias completamente distintas. (Los pingüinos constituyen su propia familia, mientras que las alcas son miembros de la familia que incluye a los frailecillos y los araos; los análisis genéticos han demostrado[23] que el alca común, del género *Alca*, es el pariente vivo más cercano del alca gigante.)

Como los pingüinos, las alcas gigantes eran muy buenas nadadoras (hay testimonios de la «prodigiosa velocidad»[24] que alcanzaban estas aves en el agua) y pasaban la mayor parte de su vida en el mar. Sin embargo, durante la época de cría, en mayo y junio, caminaban con dificultad por la costa en gran número, y de ahí su vulnerabilidad. No cabe duda de que los nativos americanos cazaban alcas gigantes (en una tumba antigua de Canadá se encontraron más de un centenar de picos de estas aves), y también los europeos del Paleolítico: se han encontrado huesos de alca gigante[25] en yacimientos arqueológicos de Dinamarca, Suecia, España, Italia y Gibraltar, entre otros lugares. Para cuando llegaron a Islandia los primeros pobladores humanos, muchos de los lugares de cría del alca gigante ya se habían saqueado, y es probable que su área de distribución fuese mucho más reducida. Fue entonces cuando se produjo la masacre.

Atraídos por la rica pesquería de bacalao, en el siglo XVI los europeos comenzaron a realizar incursiones regulares a Terranova. Por el camino encontraron un bloque de granito rosado de unas 20 hectáreas de superficie que apenas emergía por encima de las olas. En la primavera, aquel bloque quedaba cubierto de aves que se agolpaban, por así decirlo, hombro con hombro. Muchas de estas aves eran alcatraces y araos; el resto, alcas gigantes. El bloque, a unas cuarenta millas de la costa norte de Terranova, llegó a conocerse como Isla de las Aves o, en algunos casos, Isla de los Pingüinos; en la actualidad se conoce como isla de Funk. Hacia el final de una larga travesía transatlántica, cuando las provisiones comenzaban a escasear, la carne fresca era muy apreciada, y la facilidad con la que se cazaban las alcas de aquella roca no tardó en acreditarse. En una crónica de

1534, el explorador francés Jacques Cartier escribió que algunos de los habitantes de la Isla de las Aves eran «grandes como gansos».

> Siempre están en el agua, dado que son incapaces de volar en el aire a causa de la pequeñez de sus alas … con las que … se mueven con tanta rapidez por el agua como otras aves vuelan por el aire. Y estas aves son tan grasas que resulta prodigioso. En menos de una hora llenamos dos botes con ellas, como si fueran piedras, y con aquellas que no comimos frescas, cada barco guardó en sal cinco o seis barriles llenos.[26]

Una expedición británica que puso pie en la isla algunos años más tarde la halló «repleta de aves grandes como gansos». Los hombres condujeron a «un gran número de aquellas aves» hasta sus barcos y hallaron que el resultado fue bastante sabroso, «una carne muy buena y nutricia». Una crónica de 1622 de la pluma de un capitán llamado Richard Whitbourne describe cómo las alcas gigantes son empujadas a los botes «a cientos, como si Dios hubiera hecho a aquellas pobres criaturas tan inocentes para que se convirtieran en un admirable instrumento para el sustento del Hombre».[27]

Durante las décadas siguientes se encontraron otros usos para el alca gigante aparte del «sustento». (Como observó un cronista, «las alcas gigantes de la isla de Funk se explotaban de todas las formas que el ingenio humano pudiera imaginar».)[28] Se usaron como cebo para pescar, como fuente de plumas para rellenar colchones, y como combustible. Se erigieron en la isla de Funk apriscos de piedra cuyos vestigios todavía son visibles en la actualidad, y se llevaba a las aves hasta aquellos corrales hasta que alguien tuviera tiempo de matarlas. O no. A decir de un navegante inglés llamado Aaron Thomas, que viajó hasta Terranova en el HMS *Boston*:

> Si lo que quieres son las plumas, no te molestas en matarlas, sino que coges una y le arrancas las mejores plumas. Luego sueltas al pobre pingüino, con la piel medio desnuda y descarnada, para que perezca a su antojo.

No hay árboles en la isla de Funk, y por tanto nada que quemar. Esto suscitó otra de las prácticas que nos ha transmitido Thomas:

> Llevas contigo un perol en el que metes uno o dos pingüinos, enciendes un fuego bajo el perol, y también ese fuego se alimenta exclusivamente de los pobres pingüinos. Tan graso es su cuerpo que no tarda en producir una llama.[29]

Se ha estimado[30] que cuando los europeos llegaron por primera vez a la isla de Funk encontraron allí hasta 100.000 pares de alcas gigantes que cuidaban de unos 100.000 huevos. (Es probable que las alcas produjesen un único huevo al año; éstos medían unos trece centímetros de largo y estaban moteados, al estilo de Jackson Pollock, en negro y marrón.) Es evidente que la colonia de cría de la isla debía ser lo bastante grande para persistir a la depredación durante más de dos siglos. No obstante, a finales del siglo XVIII, el número de aves se había reducido drásticamente. El comercio de plumas se había vuelto tan lucrativo que grupos enteros de hombres pasaban el verano en la isla de Funk, escaldando y desplumando las aves. En 1785, George Cartwright, un comerciante y explorador inglés, observó acerca de estos grupos: «La destrucción que han producido es difícil de creer». Y predecía que si no se ponía freno a aquella empresa, el alca gigante pronto quedaría «reducida a casi nada».[31]

No está del todo claro si aquellos grupos llegaron a matar hasta la última alca de la isla o si la masacre simplemente redujo la colonia hasta el punto de hacerla vulnerable a otras fuerzas. (La reducción de la población podría haber hecho menos probable la supervivencia para

las aves que quedaron, un fenómeno que se conoce como efecto Allee.) Sea como fuere, la fecha que se suele dar para la extinción del alca gigante en América del Norte es 1800. Unos treinta años más tarde, mientras trabajaba en *Las aves de América*, James Audubon viajó a Terranova en busca de alcas gigantes que pudiera pintar al natural. No logró hallar ninguna, y para su ilustración tuvo que contentarse con un ave disecada adquirida a un comerciante de Londres. En su descripción del alca gigante, Audubon escribió que era «rara y accidental en las costas de Terranova»[32] y que «se dice que cría en una roca de aquella isla», una curiosa contradicción, puesto que no puede decirse de ninguna ave nidificante que sea «accidental».



Alcas gigantes, según Audubon. © Natural History Museum, London/Mary Evans Picture Library.

Una vez que las aves de la isla de Funk fueron saladas, desplumadas y freídas de la primera a la última, sólo quedó en el mundo una colonia de cierto tamaño en una isla llamada Geirfuglasker, o gran roca del alca, a unas treinta millas al suroeste de la península islandesa de Reikianes. Para desgracia del alca, una erupción volcánica destruyó Geirfuglasker en 1830, dejándole al ave un único y solitario refugio, una mota apenas de isla conocida como Eldey. Para entonces, el alca gigante se enfrentaba a una nueva amenaza: su propia escasez. Sus pellejos y sus huevos eran buscados con avidez por caballeros que, como el conde Raben, deseaban completar su colección. En beneficio de tales entusiastas en 1844 cayó en Eldey la última pareja conocida de alca.

Antes de partir hacia Islandia, había decidido que quería ver el último reducto del alca. Eldey se halla a sólo diez millas de la península de Reikianes, que está al sur de Reikiavik. Pero organizar el viaje hasta la isla resultó ser mucho más complicado de lo que nunca hubiera imaginado. Todas las personas con las que contacté en Islandia me dijeron que allí no iba nunca nadie. Al final, un amigo islandés se puso en contacto con su padre, que es un ministro de la iglesia en Reikiavik, y éste se puso en contacto con un amigo suyo que regenta un centro de la naturaleza en un pequeño pueblo de la península llamado Sandgerði. A su vez, el director del centro de la naturaleza, Reynir Sveinsson, encontró un pescador, Halldór Ármannsson, que se mostró dispuesto a llevarme, pero sólo con buen tiempo; con lluvia o viento, el viaje sería demasiado movido y peligroso, y no se arriesgaría a hacerlo.

Por suerte, el día elegido el tiempo resultó ser espléndido. Me encontré con Sveinsson en el centro de la naturaleza, que tiene una exposición sobre un explorador

francés, Jean-Baptiste Charcot, que falleció cuando su barco, infelizmente llamado *Pourquoi-Pas*, se hundió frente a las costas de Sandgerði en 1936. Caminamos hasta el puerto y hallamos a Ármannsson cargando un arcón en su barco, el *Stella*. Nos explicó que en su interior había una balsa salvavidas adicional. «Normas», nos dijo, encogiéndose de hombros. Ármannsson había venido con su compañero de pesca y una nevera llena de refrescos y galletas. Parecía estar contento de hacer un viaje que no tenía nada que ver con el bacalao.

Maniobramos hasta salir del puerto y navegamos hacia el sur, alrededor de la península de Reikianes. El día era tan claro que podíamos ver el pico nevado de Snæfellsjökull, a más de sesenta millas de distancia. (Para muchos, Snæfellsjökull probablemente sea conocido como el lugar donde el héroe de *Viaje al centro de la Tierra*, de Julio Verne, descubre el túnel que atraviesa el globo.) Eldey, mucho más bajo que Snæfellsjökull, todavía no se podía ver. Sveinson me explicó que Eldey significa «isla del fuego», y añadió que, aunque había pasado toda su vida en aquella zona, nunca había estado en ella. Había traído consigo una cámara estupenda con la que no paraba de disparar.

Mientras Sveinsson se dedicaba a sacar fotos, charlé con Ármannsson dentro del pequeño puente del *Stella*. Me sorprendió ver que tenía los ojos de colores totalmente distintos, uno azul y el otro castaño. Me explicó que solía pescar el bacalao con palangre, una larga línea de unas seis millas con unos 12.000 anzuelos. De poner el cebo en los anzuelos se ocupaba su padre, y le llevaba casi dos días. Una buena captura podía pesar más de siete toneladas. Ármannsson dormía a menudo en el *Stella*, que estaba equipado con un microondas y dos pequeños catres.

Al cabo de un rato, Eldey apareció en el horizonte. La isla se asemejaba a la basa de una enorme columna o a un gigantesco pedestal que esperara la llegada de una estatua igualmente gigante. Cuando nos acercamos hasta una milla o menos, pude apreciar que la parte superior de la isla, que a lo lejos parecía plana, en realidad tenía una inclinación de unos 10 grados. Nos aproximábamos por el lado más bajo, así que podía ver toda su superficie. Era blanca y parecía estar rizada. Al acercarnos pude ver que aquellas pequeñas ondulaciones eran en realidad aves, en tan gran cantidad que cubrían la isla entera, y cuando nos aproximamos todavía más, comprobé que se trataba de alcatraces, unas elegantes aves de cuello largo, cabeza de color crema y picos afilados. Svensson nos explicó que Eldey acogía una de las mayores colonias de alcatraz común de todo el mundo, unas 30.000 parejas. Señaló una estructura en forma de pirámide en lo más alto de la isla. Era la plataforma de una cámara web que había colocado la agencia del medio ambiente de Islandia con la intención de transmitir en directo imágenes de los alcatraces para los amantes de las aves, pero no había llegado a funcionar como se había planeado.

«A las aves no les gusta esta cámara», dijo Svensson. «Así que la sobrevuelan y se cagan encima.» El guano de 30.000 parejas de alcatraces ha cubierto la isla con una costra que parece de vainilla.

A causa de los alcatraces, pero quizá también a causa de la historia de la isla, no se permite a los visitantes que pongan un pie en Eldey sin un permiso especial (difícil de obtener). Cuando me enteré de ello, me sentí decepcionada, pero al llegar por fin a la isla y ver cómo rompía el mar contra los cantiles, lo que sentí fue alivio.



Matthew Kleiner.

Las últimas personas que vieron alcas gigantes vivas fueron alrededor de una docena de islandeses que llegaron a la isla en una barca de remos. Salieron una tarde de junio de 1844, remaron durante toda la noche, y alcanzaron la isla a la mañana siguiente. Con cierta dificultad, tres de los hombres lograron poner pie en tierra en el único lugar donde es posible amarrar: una plataforma baja de roca que se extiende desde la isla hacia el noreste. (Un cuarto hombre que se suponía que tenía que acompañarlos se negó alegando que era demasiado peligroso.) Para entonces, la población total de alca gigante de la isla, que probablemente nunca fuese muy numerosa, debía estar formada por una única pareja de alcas y un huevo. Al divisar a los hombres, las aves intentaron huir, pero eran demasiado lentas. A los pocos minutos, los islandeses

habían capturado las alcas y las habían estrangulado. Vieron que el huevo había quedado agrietado, posiblemente a causa de la persecución, de modo que lo dejaron allí. Dos de los hombres lograron saltar de nuevo a la barca; al tercero hubo que arrastrarlo a través de las olas con un cuerda.

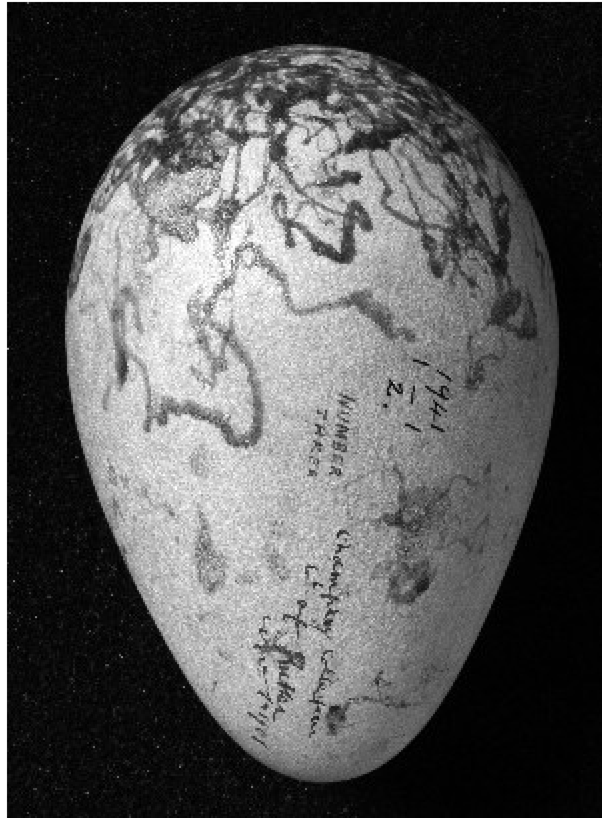
Los detalles de los últimos momentos del alca gigante, incluidos los nombres de los hombres que mataron a las aves (Sigurður Iselfsson, Ketil Ketilsson y Jón Brandsson) los conocemos porque catorce años más tarde, en el verano de 1858, dos naturalistas británicos viajaron a Islandia en busca de alcas. El mayor de ellos, John Wolley, era médico y un ávido recolector de huevos; el más joven, Alfred Newton, era profesor en Cambridge y no tardaría en convertirse en el primer catedrático de zoología de esta universidad. La pareja pasó varias semanas en la península de Reikianes, no muy lejos del lugar donde hoy se encuentra el aeropuerto internacional de Islandia, y durante aquel tiempo debieron hablar prácticamente con todos los que alguna vez habían visto un alca, o habían oído hablar de una, entre ellos los hombres que participaron en la expedición de 1844. Descubrieron así que la pareja de alcas que habían matado en aquella ocasión se la habían vendido a un comerciante por el equivalente de unas nueve libras. Las entrañas de las aves se habían enviado al Museo Real de Copenhague, pero nadie sabía decir dónde habían acabado los pellejos. (Investigaciones posteriores llegaron a la conclusión de que la piel de la hembra había acabado expuesta en el Museo de Historia Natural de Los Ángeles.) [33]

Wolley y Newton albergaban la esperanza de acercarse también ellos a Eldey, pero el mal tiempo se lo impidió. «Teníamos dispuestos los barcos y los hombres, así como las provisiones, pero no se nos presentó ni una sola

oportunidad que permitiera desembarcar», escribiría Newton más tarde. «Vimos con el corazón encogido cómo la estación se iba consumiendo.»[34]

Wolley murió poco después del regreso de la pareja a Inglaterra. Para Newton, la experiencia del viaje habría de cambiarle la vida. Llegó a la conclusión de que el alca había desaparecido —«a todos los efectos prácticos podemos, por consiguiente, hablar de ella como de algo del pasado»—, y desarrolló lo que un biógrafo calificó de «peculiar atracción»[35] hacia «las faunas extintas o en proceso de extinción». Newton comprendió que las aves que criaban a lo largo de la costa británica también estaban en peligro, y observó que las mataban con escopeta por deporte en grandes cantidades.

«El ave abatida es un progenitor», señaló en un discurso dirigido a la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia. «Nos aprovechamos de sus más sagrados instintos para asaltarla, y al quitarle la vida a un progenitor, condenamos a su indefensa progenie a la más mísera de las muertes, la que trae el hambre. Si eso no es crueldad, ¿qué lo es?» Newton abogó porque se prohibiese la caza durante la época de cría, y sus esfuerzos dieron como resultado una de las primeras leyes dirigidas a lo que hoy conoceríamos como protección de la vida silvestre: la Ley para la Conservación de las Aves Marinas.



Las alcas gigantes ponían un solo huevo al año. Natural History Museum/Science Source.

Curiosamente, el primer artículo de Darwin sobre la selección natural se publicó justo cuando Newton regresaba de Islandia. El artículo, en el *Journal of the Proceedings of the Linnean Society*, se había publicado (con la ayuda de Lyell) a toda prisa poco tiempo después de que Darwin se enterase de que un joven naturalista llamado Alfred Russel Wallace había desarrollado ideas parecidas. (En el mismo número del *Journal* apareció un artículo de Wallace.) Newton leyó el ensayo de Darwin muy poco tiempo después de que saliera publicado, despierto hasta bien entrada la noche hasta acabarlo, y se convirtió a sus ideas de inmediato. «Me llegó como la revelación directa de un poder superior[36] —recordaría más tarde— y a la mañana siguiente me desperté con la conciencia de que en

la simple expresión “selección natural” se encerraba el fin de todo el misterio.» Según escribió a un amigo, había desarrollado un caso de «darwinismo puro y absoluto».[37] Varios años más tarde, Newton y Darwin comenzaron a escribirse (en cierto momento Newton envió a Darwin el pie de una perdiz enferma que creyó que podría interesarle) y con el tiempo los dos hombres acabaron manteniendo una relación amistosa.

Desconocemos si alguna vez comentaron algo sobre el alca gigante. No se menciona[38] en la correspondencia que nos ha llegado de Newton ni de Darwin, ni éste alude en ningún momento al ave o a su reciente desaparición en ninguno de sus otros escritos. Pero Darwin debía ser consciente de la extinción causada por el hombre. En las Galápagos había presenciado personalmente, si no exactamente un caso de extinción en acción, algo que desde luego se le parecía mucho.

La visita de Darwin al archipiélago se produjo en el otoño de 1835, casi cuatro años después de iniciado el periplo del *Beagle*. En la isla Charles (hoy Floreana) conoció a un inglés llamado Nicholas Lawson, a la sazón gobernador en funciones de las Galápagos además de director de una pequeña y bastante miserable colonia penal. Lawson tenía todo tipo de información útil. Entre lo que le relató a Darwin, estaba el hecho de que en cada una de las islas de las Galápagos las tortugas tenían un caparazón de forma distinta. Lawson llegaba a afirmar[39] que sobre esta base podía «decir de qué isla provenía una tortuga». Lawson también le dijo a Darwin que las tortugas tenían los días contados. Las islas eran visitadas con asiduidad por barcos balleneros, que cargaban varias de aquellas tortugas gigantes como provisión. Apenas unos pocos años antes, una fragata había recalado en la isla Charles y había zarpado con doscientas tortugas

almacenadas en sus bodegas. En consecuencia, según Darwin escribió en su diario, «su número se ha visto muy reducido». Para cuando se produjo la visita del *Beagle*, las tortugas se habían tornado tan escasas en la isla de Charles que al parecer Darwin no consiguió ver ni una sola. Lawson predijo que la tortuga de Charles, que hoy conocemos por el nombre científico *Chelonoidis elephantopus*, habría desaparecido por completo en treinta años. En realidad, probablemente desapareció[40] en menos de diez. (Todavía se debate si *Chelonoidis elephantopus* era una especie distinta o una subespecie.)

La familiaridad de Darwin con la extinción causada por los humanos también resulta evidente en *El origen de las especies*. En uno de los muchos pasajes en los que hace escarnio de los catastrofistas, hace notar que los animales inevitablemente se tornan raros antes de extinguirse: «sabemos que éste ha sido el curso de los acontecimientos en aquellos animales que han sido exterminados, local o totalmente, por la acción del hombre». Se trata de una alusión breve y, por su brevedad, sugerente. Darwin da por sentado que sus lectores saben de esos «acontecimientos» y ya están acostumbrados a ellos. Él mismo no parece hallar en ello nada inquietante o digno de mención. Pero la extinción causada por el hombre es, naturalmente, inquietante por muchas razones, algunas de las cuales tienen que ver con la propia teoría de Darwin, y resulta desconcertante que un escritor tan sagaz y autocrítico como Darwin no se haya dado cuenta de ello.

En *El origen*, Darwin no establece ninguna distinción entre el hombre y los otros organismos. Como él y muchos de sus coetáneos reconocieron, esta equivalencia es el aspecto más radical de su obra. Los humanos, como cualquier otra especie, son descendientes con modificaciones de antepasados más antiguos. Incluso

aquellas cualidades que parecían situar aparte a los humanos (el lenguaje, el raciocinio, el sentido del bien y del mal) habían evolucionado del mismo modo que otros rasgos adaptativos, como un pico más largo o unos incisivos más afilados. En el núcleo de la teoría de Darwin, en palabras de uno de sus biógrafos, está «la negación de un lugar especial para la humanidad».[41]

Y lo que es cierto para la evolución debe serlo también para la extinción, pues de acuerdo con Darwin, la segunda no es más que un efecto secundario de la primera. Las especies fueron aniquiladas, igual que fueron creadas, por «causas que obran lentamente y que existen todavía», es decir, por medio de la competencia y la selección natural; invocar cualquier otro mecanismo era poco menos que desconcertante. Pero, entonces, ¿qué sentido hay que darle a casos como el del alca gigante o de la tortuga de la isla Charles o, por seguir con la lista, el dodo o la vaca marina de Steller? Evidentemente, estos animales no fueron exterminados por una especie rival al tiempo que, de manera gradual, desarrollaba alguna ventaja competitiva. Todas fueron exterminadas por la misma especie, y todas de forma bastante rápida: en el caso del alca gigante y de la tortuga de la isla Charles, en el curso de la vida del propio Darwin. O bien había que crear una categoría aparte para la extinción causada por el hombre, en cuyo caso los humanos realmente *merecían* un «estatus especial» como organismo ajeno a la naturaleza, o había que abrir un espacio en el orden natural para el cataclismo, en cuyo caso, dolorosamente, Cuvier tenía razón.

# 4

# La suerte de los amonites

*Discoscaphites jerseyensis*

El pueblo de montaña de Gubbio, a unos 160 kilómetros al norte de Roma, podría describirse como un fósil municipal. Sus calles son tan estrechas que en muchas de ellas no cabe siquiera el Fiat más pequeño, y sus plazas de piedras grisácea guardan el aspecto que debían tener en tiempos de Dante. (De hecho, fue un poderoso gubbiano, designado señor alcalde de Florencia, quien planeó el exilio de Dante en 1302.) Si se visita en invierno, como yo hice, cuando ya se han ido los turistas, los hoteles han cerrado y el pintoresco palacio está desierto, casi parece que Gubbio sea un pueblo encantado y esté esperando a despertarse.

Justo a las afueras del pueblo hay una estrecha garganta que se dirige hacia el noreste. Las paredes de la garganta, que se conoce como Gola del Bottaccione, están formadas por capas de caliza que discurren en franjas diagonales. Mucho antes de que se poblara esta región, mucho antes incluso de que los humanos existieran, Gubbio se hallaba en el fondo de un mar azul y transparente. Los restos de pequeños organismos marinos fueron depositándose sobre el fondo de aquel mar, que fue creciendo año a año, siglo a siglo, milenio a milenio. Durante el levantamiento que dio origen a los Apeninos, la caliza quedó elevada e inclinada con un ángulo de 45 grados. Por eso, pasear hoy por la garganta es como viajar,

capa a capa, a través del tiempo. En el espacio de unos pocos metros se puede recorrer casi un centenar de millones de años.

La Gola del Bottaccione es en la actualidad un destino turístico por derecho propio, aunque para un tipo de gente más especializado. Fue aquí donde, a finales de la década de 1970, un geólogo llamado Walter Alvarez, que había venido a estudiar el origen de los Apeninos, más o menos por accidente acabó reescribiendo la historia de la vida. En la garganta descubrió las primeras trazas del gigantesco asteroide que puso fin al periodo Cretácico y provocó lo que probablemente haya sido el peor día de la historia del planeta Tierra. Para cuando el polvo (en este caso, tanto literal como figurativo) se hubo depositado, habían desaparecido tres cuartas partes de todas las especies.

La prueba del impacto del asteroide se encuentra en una fina capa de arcilla más o menos a media altura de la garganta. Los visitantes pueden aparcar en un desvío construido no muy lejos. También hay un pequeño plafón que explica, en italiano, el significado de aquel lugar. La capa de arcilla es fácil de encontrar. Cientos de dedos la han ido desgastando, un poco como los besos de los peregrinos han ido desgastando los pies de bronce de San Pedro en Roma. El día de mi visita era gris y lluvioso, de modo que dispuse del lugar para mí sola. Me pregunté qué movía a la gente a rascar la capa con el dedo. ¿Era simple curiosidad? ¿Alguna forma de cotilleo geológico? ¿O era algo más empático: el deseo de establecer contacto, por atenuado que fuera, con un mundo perdido? También yo metí el dedo. Revolví con él el surco y extraje un trozo de arcilla del tamaño de un guijarro. Tenía el color del ladrillo gastado y la consistencia del barro seco. Lo guardé en el envoltorio de un caramelo y lo puse en un bolsillo. Era mi propio trocito de un desastre planetario.



La capa de arcilla de Gubbio, con un caramelo marcando el lugar. Elizabeth Kolbert.

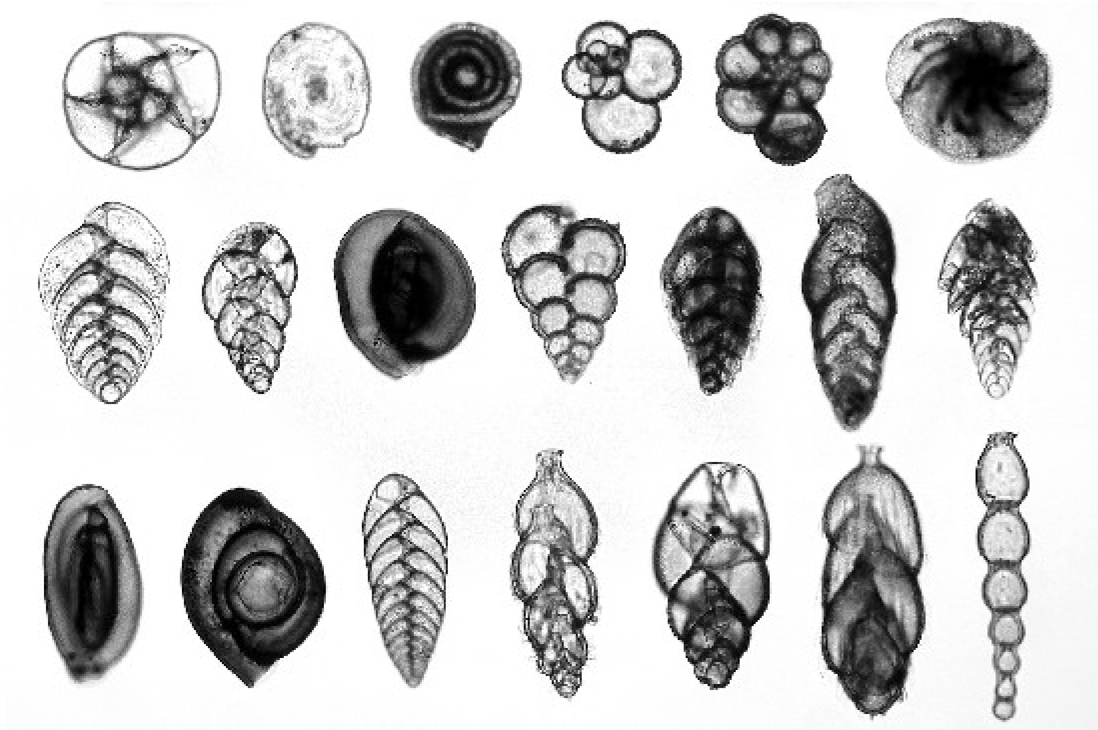
Walter Alvarez provenía de un largo linaje de distinguidos científicos. Tanto su bisabuelo como su abuelo habían sido físicos de renombre, y su padre, Luis, fue físico en la Universidad de California en Berkeley. Pero fue su madre quien lo llevó a dar largos paseos por las colinas de Berkeley y sembró en él el interés por la geología. Walter hizo su doctorado en la Universidad de Princeton, y luego fue a trabajar en la industria petrolera. (Vivía en Libia cuando Muammar Gaddafi tomó el poder, en 1969.) Unos años más tarde consiguió una plaza como investigador en el Observatorio de la Tierra Lamont-Doherty, al otro lado del Hudson desde Manhattan. Por aquel entonces, lo que en

ocasiones se denomina «revolución de la tectónica de placas» arrasaba entre los profesionales, y casi todos los de Lamont se dejaron llevar por ella.

Alvarez decidió intentar averiguar de qué modo, sobre la base de la tectónica de placas, se había formado la península itálica. Una de las claves del proyecto era una caliza roja, conocida como *scaglia rosso*, que se encuentra, entre otros lugares, en la Gola del Bottaccione. El proyecto avanzó, se quedó embarrancado y cambió de dirección. «En la ciencia, a veces es mejor tener suerte que ser listo»,[1] diría más tarde, refiriéndose a aquellos acontecimientos. Al final se encontró en Gubbio trabajando con una geóloga italiana llamada Isabella Premoli Silva, una experta en foraminíferos.

Los foraminíferos son unos diminutos organismos marinos que fabrican unos pequeños caparazones de calcita, o testas, que sedimentan hacia el fondo del mar una vez muerto el animal de su interior. Las testas tienen formas características, que varían de una especie a otra; algunas parecen (bajo el microscopio) pequeñas colmenas; otras, trenzas o burbujas o racimos de uva. Los foraminíferos suelen estar ampliamente distribuidos y se preservan en abundancia, lo que los hace muy útiles como índices fósiles: en función de qué especies de foraminíferos se encuentran en una determinada capa de roca, un experto como Silva puede determinar la edad de la roca. A medida que fueron examinando hacia arriba la Gola de Bottaccione, Silva le señaló a Alvarez una secuencia curiosa. La caliza del último estadio del periodo Cretácico contenía foraminíferos diversos, abundantes y relativamente grandes, muchos del tamaño de un grano de arena. Justo encima había una capa de arcilla de poco más de un centímetro de grosor que no contenía foraminíferos. Sobre la arcilla había caliza con más foraminíferos, pero

éstos pertenecían sólo a un puñado de especies, todas de pequeño tamaño y totalmente distintas de las mayores de la capa inferior.



Los foraminíferos se presentan en formas características, a veces caprichosas. © ER Degginger/Science Source.

Alvarez se había formado, por decirlo en una frase, en «una suerte de uniformismo irreductible».[2] Había sido educado para creer, siguiendo a Lyell y a Darwin, que la desaparición de cualquier grupo de organismos tenía que ser un proceso gradual por el que una especie se extinguía lentamente, luego otra, después una tercera, y así sucesivamente. Sin embargo, cuando examinó la secuencia de la caliza de Gubbio lo que vio fue algo distinto. Las muchas especies de foraminíferos de la capa inferior parecían desaparecer de manera súbita y todas más o menos al mismo tiempo; Alvarez recordaría más tarde que todo aquel proceso «parecía muy abrupto». Luego estaba la curiosa cuestión de las coincidencias en el tiempo. Daba la

impresión de que los foraminíferos grandes hubiesen desaparecido más o menos al mismo tiempo en que, según se sabía, se habían extinguido los últimos dinosaurios. Esto a Alvarez le pareció mucho más que una mera coincidencia. Pensó que sería interesante conocer con exactitud cuánto tiempo representaba aquel centímetro y medio escaso de arcilla. En 1977, Alvarez consiguió un trabajo en Berkeley, donde todavía trabajaba su padre, Luis, y se llevó consigo a California las muestras de Gubbio. Mientras Walter estudiaba tectónica de placas, Luis había ganado un premio Nobel. También había desarrollado el primer acelerador lineal de protones, inventado un nuevo tipo de cámara de burbujas y diseñado varios innovadores sistemas de radar, y había sido uno de los descubridores del tritio. En Berkeley, Luis había llegado a ser conocido como «el hombre de las ideas extravagantes». Intrigado por un debate sobre si había cámaras llenas de tesoros en el interior de la segunda pirámide más grande de Egipto, llegó a diseñar una prueba que requería instalar un detector de muones en el desierto. (El detector demostró que la pirámide era toda ella de roca sólida.) En otra ocasión se había interesado por el asesinato de Kennedy y había realizado un experimento que requería envolver melones cantalupo con cinta de embalar y dispararles con un rifle. (El experimento demostró que el movimiento de la cabeza del presidente después de ser alcanzado por una bala era coherente con los hallazgos de la Comisión Warren.) Cuando Walter le explicó a su padre el enigma de Gubbio, Luis quedó fascinado. Fue a Luis a quien se le ocurrió la extravagante idea de datar la arcilla con la ayuda del elemento iridio.

El iridio es extremadamente raro en la superficie de la Tierra pero mucho más común en los meteoritos. En forma de microscópicos granos de polvo cósmico, sobre nuestro planeta llueven constantemente trozos de meteorito. Luis

razonó que, cuanto más tiempo hubiera tardado en acumularse la capa de arcilla, más polvo cósmico habría caído y, por consiguiente, más iridio contendría. Se puso en contacto con un colega de Berkeley, Frank Asaro, cuyo laboratorio era uno de los pocos que disponían de los equipos adecuados para este tipo de análisis. Asaro se prestó a realizar las pruebas sobre una docena de muestras, pero les dijo que dudaba mucho de que sacaran nada en claro. Walter le proporcionó un poco de caliza de encima de la capa de arcilla, un poco de caliza de debajo, y un poco de la propia arcilla. Entonces esperó. Nueve meses más tarde recibió una llamada. Algo andaba muy mal con las muestras de la capa de arcilla. La cantidad de iridio[3] que contenía se salía de la escala.

Nadie sabía qué pensar de todo aquello. ¿Se trataba de una extraña anomalía o tenía un significado mucho mayor? Walter voló a Dinamarca para recoger muestras de unos sedimentos de finales del Cretácico de un conjunto de acantilados calizos conocidos como Stevns Klint. En Stevns Klint, el fin del periodo Cretácico se manifiesta como una capa de arcilla negra como el tizne que huele a pescado podrido. Cuando analizaron aquellas hediondas muestras danesas, vieron que también éstas contenían niveles astronómicos de iridio. Un tercer grupo de muestras, procedentes esta vez de la isla Sur de Nueva Zelanda, también mostró un «pico» de iridio justo al final del Cretácico.

Luis, a decir de uno de sus colegas, reaccionó a las noticias «como un tiburón cuando huele sangre»;[4] percibió la oportunidad de un gran descubrimiento. Los Alvarez le dieron vueltas a varias teorías. Pero todas las que se les ocurrieron o bien no se ajustaban a los datos disponibles o quedaron descartadas por nuevas pruebas. Por fin, tras casi un año de callejones sin salida, llegaron a la hipótesis del

impacto. Un día tan normal como cualquier otro de hace 65 millones de años, un asteroide de unos 10 kilómetros de diámetro había colisionado con la Tierra. Al chocar y explotar había liberado una cantidad de energía del orden de 100 millones de megatoneladas de TNT, más de un millón de las bombas de hidrógeno más potentes que se hayan detonado. Los restos, entre los que estaba el iridio del asteroide pulverizado, se extendieron por todo el planeta. El día se convirtió en noche y las temperaturas se precipitaron. Lo que siguió fue una extinción en masa.

Los Alvarez escribieron los resultados de Gubbio y Stevns Klint y los enviaron, junto a la explicación que proponían, a la revista *Science*. «Recuerdo haber trabajado mucho para que el artículo fuese tan sólido como fuera posible», me explicó Walter.

El artículo de los Alvarez, «Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction» («Causa extraterrestre para la extinción del Cretácico-Terciario»), que fue publicado en junio de 1980, provocó una gran excitación, en buena parte fuera de los límites de la paleontología. Revistas de disciplinas tan dispares como la psicología clínica y la herpetología dieron noticia del hallazgo de los Alvarez, y la idea de un asteroide que había puesto fin al Cretácico no tardó en aparecer en revistas como *Time* y *Newsweek*. Un comentarista observó que «relacionar los dinosaurios,[5] unas criaturas que no guardan interés más que para los más genuinos lerdos, con un espectacular acontecimiento extraterrestre» parecía «como uno de esos planes que concibe un editor astuto para asegurarse las ventas». Inspirado por la hipótesis del impacto, un grupo de astrofísicos dirigido por Carl Sagan decidió intentar

modelar los efectos de una guerra global y concibió la idea del «invierno nuclear», que, a su vez, generó su propia oleada en los medios de comunicación.

Pero entre los paleontólogos profesionales, la idea de los Alvarez, y en muchos casos los propios Alvarez, fueron vilipendiados. «La presunta extinción en masa no es más que un artefacto de la estadística y de un pobre conocimiento de la taxonomía», comentó un paleontólogo al *New York Times*.

«La arrogancia de esa gente es increíble», afirmó otro. «No saben casi nada de cómo evolucionan, viven y se extinguen los animales de verdad. Pero a pesar de su ignorancia, a los geoquímicos les parece que basta con poner en marcha una máquina sofisticada para revolucionar la ciencia.»

«¿Bólidos nunca vistos que caen sobre mares desconocidos? Eso no me lo trago», declaró un tercero.

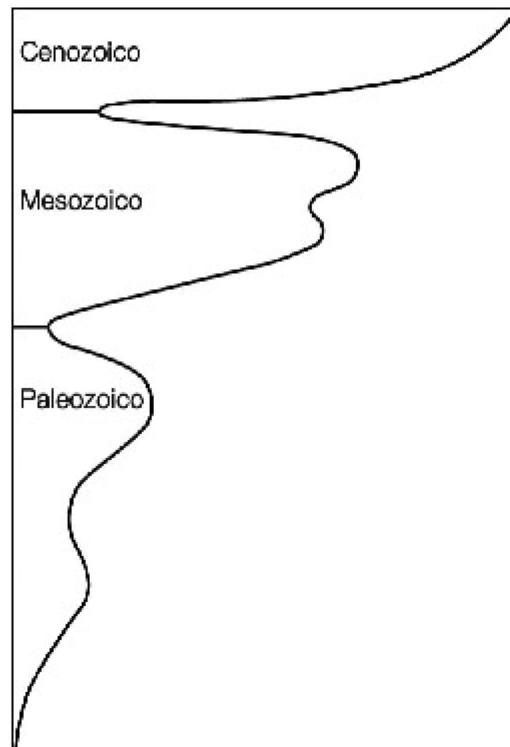
«Las extinciones del Cretácico fueron graduales y la teoría de la catástrofe es errónea»,[6] declaró aun otro paleontólogo. Pero «no dejarán de aparecer teorías simplistas para seducir a unos pocos científicos y animar las portadas de las revistas populares». Curiosamente, el comité editorial del *Times* decidió intervenir en el debate. «Los astrónomos deberían dejar a los astrólogos la tarea de buscar en las estrellas las causas de los acontecimientos terrenales»,[7] advirtió en sus páginas.

Para entender la vehemencia de esta reacción, resulta útil volver una vez más a Lyell. En el registro fósil, las extinciones en masa destacan tanto que de ellas se deriva el propio lenguaje que se utiliza para describir la historia de la Tierra. En 1841, John Phillips, un coetáneo de Lyell que le sucedió como presidente de la Sociedad Geológica de Londres, dividió la vida en tres capítulos. Al primero lo llamó Paleozoico, del griego «vida antigua», al segundo

Mesozoico, «vida de en medio», y al tercero Cenozoico, «nueva vida». Phillips fijó como divisoria entre el Paleozoico y el Mesozoico lo que más tarde se conocería como extinción de finales del Pérmico, y entre el Mesozoico y el Cenozoico, el evento de final del Cretácico. (En la jerga geológica, Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico son «eras», y cada de una de ellas está formada por varios «periodos»; el Mesozoico, por ejemplo, comprende el Triásico, el Jurásico y el Cretácico.) Los fósiles de las tres eras eran tan distintos que Phillips creía que representaban actos de creación diferentes.

Lyell era muy consciente de estas interrupciones en el registro fósil. En el tercer volumen de *Principios de geología*, señala una «brecha»[8] entre las plantas y los animales que se encuentran en rocas de final del periodo Cretácico y lo que se encuentran justo por encima, a principios del periodo Terciario (que hoy se conoce técnicamente como el principio del Paleógeno). Por ejemplo, los depósitos de finales del Cretácico contenían los restos de numerosas especies de belemnites, unos animales parecidos a las jibias que dejaron fósiles en forma de casquillos de bala. Pero los fósiles de belemnites nunca se habían hallado en depósitos más recientes. La misma pauta se aplicaba a los amonites, y también a los bivalvos rudistas, unos moluscos que formaron arrecifes inmensos. (Los rudistas se han descrito[9] como ostras con pretensiones de coral). Para Lyell era sencillamente imposible, o «poco filosófico», imaginar que esta «brecha» representase lo que parecía representar: un cambio global repentino y dramático. Y así, en un bello ejemplo de razonamiento circular, afirmó que aquella brecha en la fauna no era más que una brecha en el registro fósil. Tras comparar las formas de vida de ambos lados de la supuesta brecha, Lyell llegó a la conclusión de que el intervalo no reflejado en el

registro debía de ser largo, más o menos equivalente a todo el tiempo que había transcurrido desde que se había restablecido el registro fósil. Si usamos los métodos actuales de datación, la laguna que postulaba alcanza unos sesenta y cinco millones de años.




Este dibujo de John Phillips muestra cómo la diversidad de la vida se expande y contrae. Adaptado de John Phillips, *Life on Earth*.

También Darwin estaba bien informado acerca de la discontinuidad del final del Cretácico. En *El origen*, observa que la desaparición de los amonites parece ser «asombrosamente súbita». Y, al igual que Lyell, restó importancia a los amonites y a lo que parecían estar diciendo. Así, observaba:

> Por mi parte, considero los registros geológicos como una historia del mundo imperfectamente conservada y escrita en un dialecto que cambia, y de esta historia poseemos sólo el último volumen, referente nada más que a dos o tres siglos. De este volumen sólo se ha conservado aquí y allá un breve capítulo, y de cada página, sólo unas pocas líneas saltadas.[10]

La naturaleza fragmentaria del registro significaba que la apariencia de un cambio abrupto no era más que eso: «Por lo que se refiere a la extinción, aparentemente repentina, de familias y órdenes enteros», debe recordarse, escribió, que seguramente no se han tenido en cuenta «largos intervalos de tiempo». De no haberse perdido la evidencia de estos intervalos, ésta habría mostrado una «gran extinción lenta». Así pues, Darwin continuó el proyecto lylleano de darle la vuelta a las pruebas geológicas. «Tan profunda es nuestra ignorancia y tan grande nuestra presunción, que nos maravillamos cuando oímos hablar de la extinción de un ser orgánico, y, como no vemos la causa, invocamos cataclismos para desolar la Tierra»,[11] declaró.

Los sucesores de Darwin heredaron el problema de la «gran extinción lenta». La visión uniformista impedía cambios repentinos o extensos de ningún tipo. Pero cuanto más se sabía sobre el registro fósil, más difícil resultaba sostener que de algún modo se pudiera haber perdido una edad entera de decenas de millones de años. Esta creciente tensión condujo a una serie de explicaciones cada vez más retorcidas. Quizá se *había* producido algún tipo de «crisis» al final del Cretácico, pero tenía que tratarse de una crisis muy lenta. Quizá las pérdidas al final del periodo constituyeron, *en efecto*, una «extinción en masa». Pero no había que confundir las extinciones en masa con las «catástrofes». El mismo año que los Alvarez publicaron su artículo en *Science*, Georg Gaylord Simpson, posiblemente el más influyente paleontólogo de la época, escribió que el «recambio de especies» que se produjo al final del Cretácico había que verlo como parte de un «proceso largo y esencialmente continuo».[12]

En el contexto del «uniformismo irreductible», la hipótesis del impacto era peor que errónea. Los Alvarez decían explicar un acontecimiento que no había ocurrido,

que *no podía* haber ocurrido. Era como vender una medicina patentada para una enfermedad inexistente. Unos pocos años después de que padre e hijo publicaran su hipótesis, se llevó a cabo una encuesta informal en un congreso de la Sociedad de Paleontología de Vertebrados. Una mayoría de los encuestados admitió pensar que se podría haber producido algún tipo de colisión cósmica. Pero sólo uno de cada veinte creía que pudiera tener algo que ver con la extinción de los dinosaurios. Un paleontólogo que asistía al congreso calificó la hipótesis de los Alvarez de «bobada».[13]

Mientras tanto, seguían acumulándose pruebas a favor de la hipótesis.

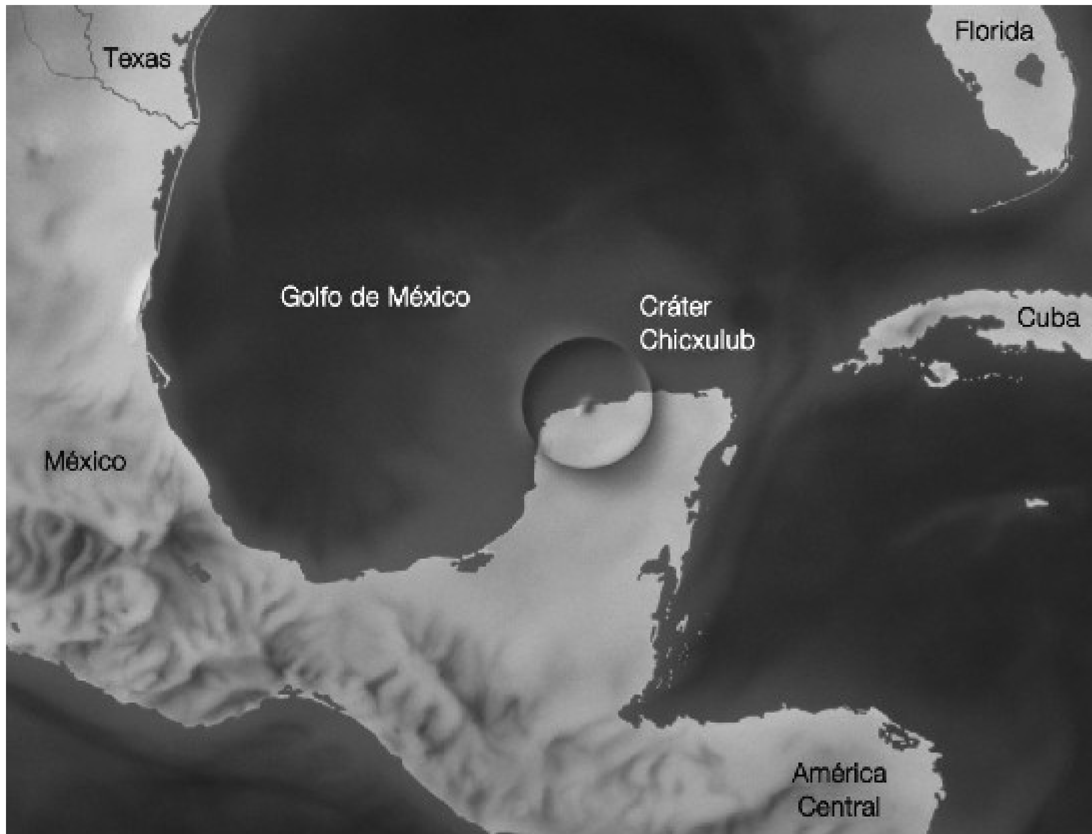
La primera corroboración independiente llegó en forma de pequeños granos de roca conocidos como «cuarzo chocado».[14] Bajo un gran aumento, el cuarzo chocado presenta lo que parecen arañazos que, en realidad, son el resultado de episodios de gran presión que han deformado la estructura del cristal. El cuarzo chocado se observó por primera vez en zonas de pruebas nucleares y, posteriormente, se halló alrededor de cráteres de impacto. En 1984 se descubrieron granos de cuarzo chocado en una capa de arcilla del límite Cretácico-Terciario (o K-T) en el este de Montana. (Se usa *K* como abreviatura de Cretácico porque *C* ya se usaba para el Carbonífero; en la actualidad, esta frontera se conoce formalmente como límite Cretácico-Paleógeno, o K-Pg.)

La siguiente pista apareció en el sur de Texas, en una curiosa capa de arenisca de finales del Cretácico que parecía haber sido producida por un enorme tsunami. A Walter Alvarez se le ocurrió que si se hubiera producido un gigantesco tsunami causado por un impacto, habría

erosionado las líneas de costa y dejado una huella característica en el registro sedimentario. Repasó los registros de miles de testigos de sedimento de perforaciones en el océano y encontró esa huella en testigos del Golfo de México. Finalmente se descubrió, o más bien se redescubrió, un cráter de unos 160 kilómetros de diámetro bajo la península de Yucatán. Sepultado bajo unos 800 metros de sedimentos más recientes, el cráter ya había aparecido en prospecciones gravimétricas realizadas por la compañía petrolera estatal de México en la década de 1950. Los geólogos de la compañía lo habían interpretado como los restos de un volcán submarino y, como los volcanes no producen petróleo, enseguida lo habían olvidado. Cuando los Alvarez les pidieron testigos de perforación que la compañía había extraído en la zona, les dijeron que se habían destruido en un incendio, pero en realidad sólo se habían extraviado. Los testigos se localizaron por fin en 1991 y se comprobó que contenían una capa de cristal (roca que se había fundido y luego enfriado con rapidez) justo en el límite K-T. Para el bando de los Alvarez, aquélla era la prueba irrebatible, y bastó para que muchos científicos indecisos se uniesen al ala de los pro impacto. «Un cráter respalda la teoría de la extinción», anunció el *Times*. Para entonces, Luis Alvarez había fallecido a causa de complicaciones de un cáncer de esófago. Walter apodó a la formación «Cráter de la muerte», aunque se conoce más como Cráter de Chicxulub, por la localidad más cercana.

«Aquellos once años parecieron muy largos, pero con la perspectiva del tiempo hoy parecen muy cortos», me comentó Walter. «Piénsalo por un momento. Tienes algo que desafía la perspectiva uniformista en la que se han educado básicamente todos los geólogos y paleontólogos, y sus profesores y los profesores de sus profesores y así hasta

Lyell. Lo que ocurrió es que se pusieron a examinar las pruebas. Y de una manera gradual, fueron *cambiando* su forma de pensar.»




El cráter Chicxulub, en la costa de la península de Yucatán, se encuentra sepultado bajo 800 metros de sedimento. Detlev van Ravenswaay/Science Source.

Cuando los Alvarez publicaron su hipótesis, sólo conocían tres localidades donde se hallaba expuesta la capa de iridio: las dos que los Alvarez habían visitado en Europa y una tercera, de la que habían recibido muestras, en Nueva Zelanda. Durante las décadas transcurridas desde entonces se han encontrado varias docenas, entre ellas una localidad cerca de una playa nudista de Biarritz, otra en el desierto de Túnez y una tercera en los suburbios de Nueva Jersey. Neil Landman, un paleontólogo especializado en amonites,

suele hacer trabajo de campo en este último lugar, y un cálido día de otoño me ofrecí a acompañarlo. Nos encontramos frente al Museo Americano de Historia Natural de Manhattan, donde Landman tiene su despacho en una torreta con vistas a Central Park, y, junto a un par de estudiantes de doctorado, nos dirigimos a Lincoln Tunnel.

Mientras conducíamos por el norte de Nueva Jersey, pasamos una sucesión de centros comerciales de carretera y tiendas de coches usados que parecían repetirse cada pocos kilómetros como fichas de dominó. Por fin, cerca ya de Princeton, entramos en un área de aparcamiento cerca de un campo de béisbol. (Landman prefiere que no revele la localización exacta del lugar, por miedo a atraer a coleccionistas de fósiles.) En el aparcamiento nos encontramos con un geólogo llamado Matt Garb, que da clases en Brooklyn College. Garb, Landman y los estudiantes de doctorado cargaron con sus equipos. Rodeamos el campo de béisbol (vacío en mitad de una jornada escolar) y nos metimos entre la maleza. No tardamos en llegar a un pequeño arroyo con las riberas cubiertas de un lodo del color del óxido. En las zarzas que se abatían sobre el agua aleteaban jirones de estandartes de basura: bolsas de plástico, trozos de periódico, anillas de plástico de paquetes de latas. «Para mí, esto es mejor que Gubbio», anunció Landman.

A finales del Cretácico, según me explicó, el parque, el lecho del arroyo y todo lo que nos rodeaba en muchos kilómetros a la redonda estaban bajo el agua. Por aquel entonces, el mundo era muy cálido (en el Ártico crecían espesos bosques) y el nivel del mar era elevado. Casi toda Nueva Jersey formaba parte de la plataforma continental de lo que hoy es el este de América del Norte, que, como el Atlántico era entonces mucho más estrecho, se encontraba considerablemente más cerca de Europa. Landman señaló

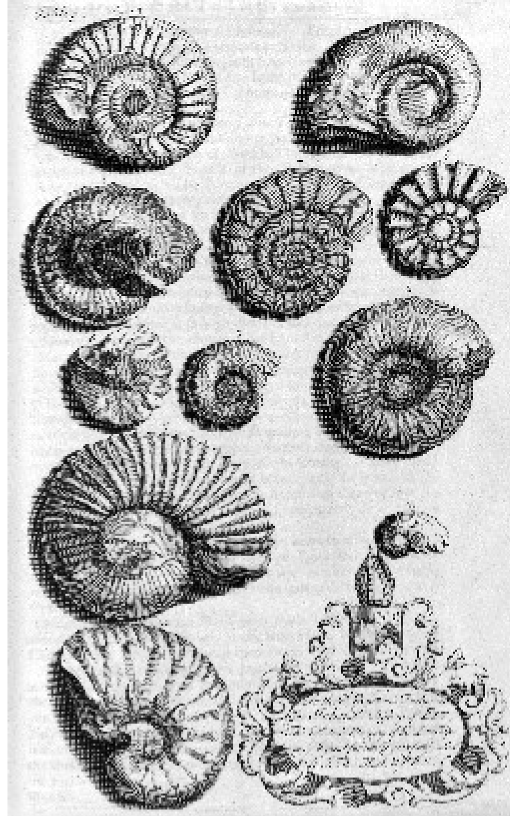
un punto en el cauce del arroyo, unos pocos centímetros por encima de la línea del agua. Allí, me explicó, estaba la capa de iridio. Aunque no era de ningún modo visiblemente distinta, Landman sabía dónde estaba porque había hecho analizar la secuencia unos años antes. Landman es un hombre fornido, de cara ancha y barba canosa. Se había vestido para la salida de campo con unas bermudas caquis y unas viejas zapatillas de deporte. Vadeó el arroyo para unirse a los otros, que ya estaban haciendo tajos en el margen con sus picos. Al poco rato, alguien encontró un diente de tiburón fosilizado. Otro extrajo un trozo de amonites. Era más o menos del tamaño de una fresa y estaba recubierto de pequeñas protuberancias o tubérculos. Landman lo identificó como un miembro de la especie *Discoscaphites iris*.

Los amonites flotaron por todos los mares someros del mundo durante más de 300 millones de años, y sus caparazones fosilizados se pueden encontrar por todo el mundo. Plinio el Viejo, que murió en la erupción que sepultó Pompeya, ya los conocía, aunque los creía piedras preciosas. (Las piedras, según explicaba en su *Historia natural*, tenían la propiedad de promover los sueños proféticos.) En la Inglaterra medieval, los amonites eran conocidos como «piedras de serpiente», y en Alemania se usaban para tratar a las vacas enfermas. En la India eran (y hasta cierto punto todavía lo son) venerados como manifestaciones de Visnú.

Como los nautilos, de los que eran parientes lejanos, los amonites fabricaban unas conchas en espiral divididas en múltiples cámaras. El animal en sí ocupaba solamente la última cámara, la más amplia; el resto estaban llenas de aire, una disposición que puede compararse con un edificio

de apartamentos en el que sólo esté habitado el ático. Las paredes entre las cámaras, o septos, estaban muy ornamentadas, formando pliegues intrincados, como los márgenes de un copo de nieve. (Las distintas especies se pueden identificar por los dibujos característicos de estos pliegues.) Este desarrollo evolutivo permitió a los amonites construir conchas a un tiempo ligeras y robustas, capaces de soportar muchas atmósferas de presión bajo el agua. La mayoría de los amonites cabían en una mano humana, pero algunos crecían hasta el tamaño de una pequeña piscina inflable.

En función del número de dientes de los amonites (nueve), se cree que sus parientes vivos más cercanos son los pulpos. Pero como las partes blandas de los amonites no se conservan nunca, el aspecto preciso de los animales y su forma de vida son, en gran medida, una cuestión de inferencia. Es probable, aunque no se sabe con certeza, que se impulsasen disparando un chorro de agua, lo que significa que sólo podían desplazarse hacia atrás.



Fósiles de amonites en un grabado del siglo XIX.
NASA/GSFC/DLR/ASU/Science Source.

«Recuerdo cuando de niño estudiaba paleontología y me enteré de que los pterodáctilos podían volar», me dijo Landman. «Mi pregunta inmediata fue ¿hasta qué altura? Pero es muy difícil llegar a conocer esos datos.»

«Llevo estudiando los amonites unos cuarenta años, y todavía no estoy seguro de qué les gustaba», prosiguió. «Tengo la impresión de que les gustaba el agua de 20, 30 o quizá 40 metros de profundidad. Eran nadadores, pero no muy buenos. Creo que llevaban una vida tranquila.» En los dibujos, los amonites se suelen representar como unas jibias metidas en conchas de caracoles. Landman, sin embargo, no está de acuerdo con esta representación. Aunque suela mostrarse a los amonites con un haz de varios tentáculos, él cree que en realidad no tenían ninguno. En un dibujo[15] que acompaña a un artículo científico reciente

de la revista *Geobios*, los amonites se muestran con un aspecto que poco difiere de un simple grumo. Sus apéndices parecen unos brazos romos y cortos dispuestos en círculo y conectados por una membrana de tejido. En los machos, uno de los brazos se extiende más allá de la membrana de tejido formando la versión del pene propia de los cefalópodos.

Landman hizo su doctorado en Yale en los años setenta. Como a todo estudiante en los años previos al hallazgo de los Alvarez, le enseñaron que los amonites habían estado en decadencia durante todo el Cretácico, así que no había que sorprenderse de que al final se extinguieran. «La impresión general era que los amonites ya se estaban muriendo», recordaba. Descubrimientos posteriores, muchos de ellos realizados por el propio Landman, han demostrado que, muy al contrario, a los amonites las cosas les iban muy bien.

«Aquí tienes muchas especies, y hemos recolectado miles de especímenes durante los últimos años», me dijo por encima del tintineo de los picos de sus colegas. De hecho, en el lecho del arroyo Landman había encontrado no hacía mucho dos especies nuevas de amonites. A una de ellas, en honor a un colaborador, la llamó *Discoscaphites minardi*. A la otra, en honor al lugar, *Discoscaphites jerseyensis*. Esta última probablemente tuviera pequeñas espinas que sobresalían de su concha y que, según conjetura Landman, ayudaban a que el animal pareciera más grande e intimidante de lo que era en realidad.

En su artículo original, los Alvarez propusieron que la causa principal de la extinción en masa del K-T no había sido el propio impacto, ni siquiera sus consecuencias inmediatas. El efecto verdaderamente catastrófico del asteroide (o, por usar un término más genérico, el bólido) fue el polvo. En las

décadas que han transcurrido desde entonces, esta explicación se ha matizado considerablemente. (La fecha del impacto también se ha llevado un poco más atrás, hasta hace 66 millones de años.) Aunque los científicos todavía debaten vigorosamente muchos de los detalles, una versión del acontecimiento es la siguiente.

El bólido llegó por el sureste, desplazándose con un ángulo bajo en relación con la Tierra, de modo que no cayó tanto desde arriba como de lado, como un avión que perdiera altitud. Cuando chocó con la península de Yucatán, se movía a unos 70.000 kilómetros por hora y, a causa de su trayectoria, América del Norte resultó especialmente afectada. Una gigantesca nube de partículas y vapor abrasadores recorrió el continente, expandiéndose a medida que avanzaba e incinerando todo lo que encontraba a su paso. «Básicamente, si fueses entonces un triceratops en Alberta, no pasarían dos minutos antes de quedar vaporizada.»[16] Es como me lo explicó un geólogo.

Al excavar el enorme cráter, el asteroide lanzó a la atmósfera más de 50 veces su propia masa en forma de roca pulverizada. A medida que el material eyectado iba cayendo de la atmósfera, las partículas se tornaban incandescentes, iluminando el cielo de forma uniforme desde lo alto y generando el calor suficiente para, a todos los efectos, asar la superficie del planeta. Debido a la composición de la península de Yucatán, el polvo lanzado al aire era rico en azufre. Los aerosoles de sulfato son particularmente eficaces a la hora de bloquear la luz del sol, y por ello una sola erupción volcánica, como la del Krakatoa, basta para reducir la temperatura global durante años. Tras el pulso inicial de calor, el mundo experimentó varias estaciones de «invierno de impacto». Los bosques quedaron diezmados. Los palinólogos, que estudian el polen y las esporas antiguos, han descubierto que diversas

comunidades vegetales fueron sustituidas completamente por la rápida dispersión de helechos. (Este fenómeno se ha dado en conocer como «pico de los helechos».) Los ecosistemas marinos se colapsaron a todos los efectos, y permanecieron en ese estado durante al menos medio millón de años, tal vez varios millones. (El desolador océano de después del impacto ha sido apodado «océano Strangelove».)

Es imposible ofrecer aquí nada que se acerque siquiera a una relación completa de las diversas especies, géneros e incluso órdenes enteros que se extinguieron en el límite K-T. Sobre las tierras emergidas, desaparecieron todos los animales mayores que un gato. Las víctimas más famosas del evento, los dinosaurios (o, para ser más precisos, los dinosaurios no aves) sufrieron pérdidas del 100%. Entre los grupos que probablemente vivieran hasta el final del Cretácico se encuentran los clásicos de las tiendas de los museos, como los hadrosauros, los anquilosauros, los tiranosauros y el triceratops. (La cubierta del libro de Walter Alvarez sobre la extinción, *Tyrannosaurus rex y el cráter de la muerte*, muestra un tiranosauro que responde airado ante el horror del impacto.) Los pterosauros también desaparecieron. Las aves quedaron fuertemente afectadas:[17] se extinguieron tal vez tres cuartas partes de las familias de aves, quizá más. Las aves enantiornitinas, que retenían rasgos arcaicos como los dientes, fueron aniquiladas completamente, y el mismo destino sufrieron las aves hesperornitinas, que eran acuáticas y la mayoría no voladoras. Lo mismo puede decirse de los lagartos y serpientes;[18] alrededor de cuatro quintas partes de las especies se extinguieron. Los efectivos de los mamíferos[19] también sufrieron muchas bajas; alrededor de dos terceras partes de las familias de mamíferos que vivían a finales del Cretácico desaparecieron en el límite.

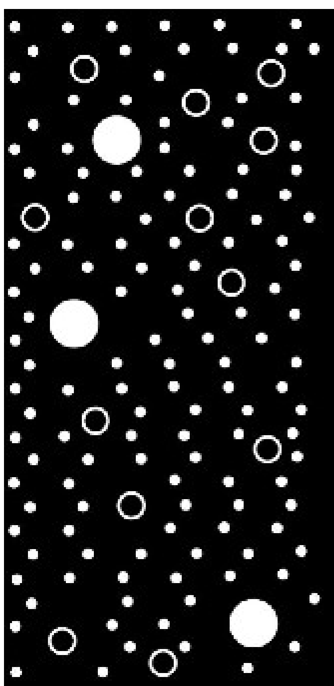
En el mar se extinguieron los plesiosauros, que a Cuvier le habían parecido primero inverosímiles y luego «monstruosos». Lo mismo les pasó a los mosasauros, los belemnites y, por supuesto, los amonites. Los bivalvos, que hoy todos conocemos por las ostras y los mejillones, sufrieron muchas bajas, al igual que los braquiópodos, que se parecen a las almejas pero tienen una anatomía totalmente distinta, y los briozoos, semejantes a los corales aunque no están de ningún modo emparentados con éstos. Varios grupos de microorganismos marinos se quedaron a una micra o dos de la aniquilación. Entre los foraminíferos planctónicos, alrededor del 95% de las especies desaparecieron, entre ellas *Abathomphalus mayaroensis*, cuyos restos se encuentran en la última capa de caliza cretácica de Gubbio. (Los foraminíferos planctónicos viven cerca de la superficie del océano; las especies bentónicas viven sobre el fondo oceánico.)

En términos generales, cuanto más aprendemos sobre el límite K-T, más equivocada nos parece la lectura del registro fósil que hizo Lyell. El problema del registro no es que unas extinciones lentas parezcan abruptas, es que incluso las extinciones abruptas es probable que parezcan prolongarse en el tiempo.

Consideremos el siguiente diagrama. Cada especie tiene lo que se conoce como «potencial de preservación», es decir, la probabilidad de que un individuo de esa especie quede fosilizado, y ese potencial varía dependiendo, entre otras cosas, de lo común que sea el animal, de dónde viva y de su constitución. (Los organismos marinos de caparazón duro tienen muchas más posibilidades de preservarse que, por ejemplo, las aves de huesos huecos.)

En este diagrama, los círculos blancos y grandes representan especies que raramente se fosilizan, los círculos de tamaño medio aquellas que se preservan con

más frecuencia, y los círculos pequeños las especies todavía más abundantes. Incluso si todas estas especies hubieran muerto exactamente en el mismo momento, *parecería* que las especies de círculo blanco se habían desvanecido mucho antes, simplemente porque sus restos son más raros. Este efecto, conocido como efecto Signor-Lipps, por los científicos que lo identificaron por primera vez, tiende a «difuminar» los eventos de extinción repentinos, haciendo que parezcan procesos largos y prolongados.



Con permiso de Paleontological Society.

Tras la extinción K-T, hubieron de pasar varios millones de años antes de que la vida recuperara sus niveles previos de diversidad. Entre tanto, muchos de los taxones que sobrevivieron aparentemente se encogieron. Este fenómeno, que puede apreciarse en los minúsculos foraminíferos que aparecen por encima de la capa de iridio de Gubbio, recibe el nombre de efecto Lilliput.

Landman, Garb y los estudiantes de doctorado pasaron la mañana entera picando en el cauce del arroyo. Aunque estábamos en mitad del estado más populoso del país, ni una sola persona pasó por allí preguntándose qué hacíamos. A medida que el día se iba tornando más caluroso y húmedo, era un placer estar en al arroyo con el agua hasta los tobillos (aunque no dejé de preguntarme por el lodo rojo). Alguien había traído un caja vacía de cartón y, como yo no tenía un pico, ayudé recogiendo los fósiles que los otros iban encontrando, los cuales disponía ordenadamente en la caja. Aparecieron varios fragmentos más de *Discoscaphites iris*, así como trozos de un amonites, *Eubaculites carinatus*, que en lugar de una concha en espiral tenía un concha delgada y alargada como una lanza. (Una teoría sobre la decadencia de los amonites, popular en la primera mitad del siglo XX, sostenía que las conchas no enrolladas de *Eubaculites carinatus* indicaba que el grupo había agotado sus posibilidades prácticas y había entrado en una suerte de fase decadente *à la* Lady Gaga.) En cierto momento, Garb se acercó corriendo excitado. Llevaba un trozo del lecho del arroyo del tamaño de un puño y me señaló en uno de sus márgenes algo que parecía una uña diminuta. Aquello, me explicó, era un fragmento de la mandíbula de un amonites. Las mandíbulas de amonites son más comunes que otras partes de su cuerpo, pero aun así son muy raras.

«El viaje ha valido la pena sólo por esto», exclamó.

No está claro qué aspecto del impacto (el calor, la oscuridad, el frío, el cambio de la química del agua) acabó con los amonites. Como tampoco está del todo claro por qué sobrevivieron algunos de sus primos cefalópodos. A diferencia de los amonites, los nautilos, por ejemplo,

superaron sin problema el evento de extinción: prácticamente todas las especies conocidas a finales del Cretácico sobrevivieron hasta el Terciario.

Una de las teorías sobre la disparidad comienza con los huevos. Los amonites producían unos huevos diminutos, de apenas unas pocas centésimas de centímetro de sección. Las larvas que salían de ellos, las amonitelas, carecían de medios de locomoción: se limitaban a flotar en la superficie del agua, dejándose llevar por las corrientes. En cambio, tras casi un año de gestación, las larvas de los nautilos emergían con la forma de adultos en miniatura, y enseguida comenzaban a nadar en busca de alimento en las profundidades. Tal vez tras el impacto, las condiciones en la superficie del océano fuesen tan tóxicas que las amonitelas no podían sobrevivir, mientras que más abajo en la columna de agua la situación no era tan terrible y los estadios jóvenes de los nautilos se las arreglaban para soportarla.

Sea cual sea la explicación, el destino tan contrastado de los dos grupos plantea una cuestión clave. Todo y todos los organismos vivos en la actualidad descienden de organismos que de un modo u otro sobrevivieron al impacto. Pero de ello no se sigue que ellos (o nosotros) estemos mejor adaptados. En tiempos de crisis extremas, el propio concepto de *fitness*, al menos en el sentido darwiniano, pierde su significado: ¿cómo puede un organismo estar adaptado, bien o mal, a condiciones que no ha experimentado nunca en toda su historia evolutiva? En esos momentos lo que Paul Taylor, un paleontólogo del Museo Natural de Londres, llama «las reglas del juego de la supervivencia»[20] cambian de forma abrupta. Rasgos que durante muchos millones de años habían sido ventajosos, de repente se tornan letales (aunque sea difícil identificar esos rasgos varios millones de años después). Y lo que es cierto de los amonites y los nautilos se aplica del mismo modo a

los belemnites y las jibias, a los plesiosauros y las tortugas, a los dinosaurios y los mamíferos. La razón de que este libro lo escriba un bípedo con pelo y no con escamas tiene más que ver con el infortunio de los dinosaurios que con cualquier virtud particular de los mamíferos.

«No es que los amonites estuvieran haciendo nada mal», me decía Landman mientras empaquetábamos los últimos fósiles del arroyo y nos preparábamos para regresar a Nueva York. «Sus larvas debían de ser como el plancton, algo que durante toda su existencia debió ser estupendo. ¿Qué mejor manera de moverse y dispersar la especie? Pero al final ahí podría estar la clave de su ruina.»

# 5

# Bienvenidos al Antropoceno

*Dicranograptus ziczac*

En 1949 un par de psicólogos de Harvard reclutaron un par de docenas de estudiantes universitarios para un experimento sobre la percepción. El experimento era sencillo: a los estudiantes se les mostraban cartas de una baraja y se les pedía que las identificaran a medida que se las iban presentando. La mayoría de las cartas eran del todo normales, pero unas pocas habías sido modificadas, de manera que la baraja contenía, entre otras rarezas, un seis de picas rojo y un cuatro de corazones negro. Cuando las cartas se mostraban con rapidez, los estudiantes tendían a pasar por alto las incongruencias; así, decían, por ejemplo, que el seis de picas rojo era un seis de corazones, o que el cuatro de corazones negro era un cuatro de picas. Cuando las cartas se presentaban más despacio, se esforzaban por captar el sentido de lo que estaban viendo. Ante una pica roja, algunos decían que parecía «púrpura» o «marrón» o «negro óxido». Otros se quedaban del todo desconcertados.[1]

Los símbolos «parecían invertidos o algo por el estilo», observó uno.

«No consigo distinguir de qué palo se trata», exclamó otro. «Ya no sé de qué color es o si es pica o corazón. ¡Ni siquiera estoy seguro de cómo es una pica! ¡Dios mío! »

Los psicólogos expusieron sus hallazgos en un artículo titulado «On the Perception of Incongruity: A Paradigm» («Sobre la percepción de la incongruencia: un paradigma»). Entre los lectores que pensaron que este artículo era interesante se encontraba Thomas Kuhn. Para Kuhn, el historiador de la ciencia más influyente del siglo XX, el experimento fue realmente paradigmático: revelaba cómo procesa la gente la información disruptiva. Su primer impulso es forzarla para que encaje en un marco familiar: corazones, picas, tréboles. Las señales de incongruencia se ignoraban tanto tiempo como fuera posible; así, la pica roja parecía ser de color «marrón» u «óxido». En el momento en que la anomalía se torna demasiado evidente se produce una crisis, lo que los psicólogos apodaron «la reacción de "¡ Dios mío! "».

Para Kuhn, tal como argumenta en su obra fundamental, *La estructura de las revoluciones científicas*, esta pauta es tan básica que no moldea únicamente las percepciones individuales sino disciplinas enteras de investigación. Los datos que no se ajustaban a las suposiciones comúnmente aceptadas de una disciplina, durante tanto tiempo como fuera posible, se ignoran o se explican de un modo u otro. Cuantas más contradicciones se acumula, más retorcidas se tornan las racionalizaciones. «En la ciencia, como en el experimento[2] de la baraja, la novedad sólo surge con dificultad», escribió Kuhn. Pero tarde o temprano llega alguien dispuesto a admitir que una pica roja es una pica roja. Las crisis conducen a la revelación, y el viejo marco deja paso a uno nuevo. Así es como tenían lugar los grandes descubrimientos científicos o, por usar el término que Kuhn hizo tan popular, los «cambios de paradigma».

La historia de la ciencia de la extinción puede contarse como una serie de cambios de paradigma. Hasta el final del siglo XVIII, la extinción no existía siquiera como categoría. Cuanto más huesos extraños (mamuts, megaterios, mosasauros) se extraían de la tierra, más forzado les resultaba a los naturalistas encajarlos en el marco que les era familiar. Los huesos gigantes pertenecían a elefantes que se habían dispersado hacia el norte, o a hipopótamos que se habían desviado hacia el oeste, o a ballenas de malévola sonrisa. Cuando Cuvier llegó a París, vio que los molares de los mastodontes no se podían encajar en el marco establecido, un momento «Dios mío» que lo llevó a proponer toda una nueva manera de verlos. Cuvier reconoció que la vida tenía una historia. Esta historia estaba marcada por pérdidas y acontecimientos puntuales demasiado terribles para la imaginación humana. «Aunque el mundo no cambia con un cambio de paradigma, a partir de entonces el científico trabaja en un mundo distinto», en palabras de Kuhn.

En sus *Recherches sur les ossemens fossiles*, Cuvier hizo una relación de docenas de *espèces perdues*, convencido de que debía de haber otras por descubrir. Pero en el plazo de unas pocas décadas ya se habían identificado tantos organismos extintos que el marco de Cuvier comenzó a agrietarse. Para seguir explicando el registro fósil, había que ir multiplicando el número de desastres. «Dios sabe cuántas catástrofes»[3] se necesitarán, se burlaba Lyell, mofándose de todo aquel empeño. La solución de Lyell consistía en rechazar de plano las catástrofes. En la formulación de Lyell (y más tarde de Darwin), la extinción era un asunto solitario. Cada una de las especies que habían desaparecido lo había hecho por cuenta propia, víctima de la «lucha por la existencia» y de sus propios defectos como «forma menos mejorada».

La explicación uniformista de la extinción se sostuvo durante más de un siglo. Entonces, con el descubrimiento de la capa de iridio, la ciencia se enfrentó a una nueva crisis. (Según un historiador, las investigaciones de los Alvarez fueron «tan explosivas para la ciencia[4] como un impacto debió de serlo para la Tierra».) La hipótesis del impacto se ocupaba de un solo momento en el tiempo, un horrendo, terrible, infame día al final del Cretácico. Pero aquel singular momento bastó para resquebrajar el marco de Lyell y Darwin. Las catástrofes, en efecto, ocurrían.

Lo que a veces se denomina neocatastrofismo, pero en la actualidad se considera parte de la geología estándar, sostiene que las condiciones de la Tierra cambian muy despacio, salvo cuando no lo hacen. En este sentido, el paradigma reinante no es ni cuvieriano ni darwiniano, sino que combina elementos clave de ambos: «largos periodos de aburrimiento ocasionalmente interrumpidos por el pánico». Aunque raros, esos momentos de pánico son desproporcionadamente importantes. Determinan las pautas de extinción o, lo que es lo mismo, las pautas de la vida.

El sendero nos lleva colina arriba, atraviesa un arroyo de aguas rápidas, vuelve a atravesarlo, y pasa junto al cadáver de una oveja que, más que muerta, parece desinflada, como un globo perdido. La colina es de color verde brillante pero no tiene árboles; varias generaciones de tíos y tías de aquella oveja han impedido que nada crezca más alto que sus hocicos. Desde mi punto de vista, llueve. Pero aquí, en los Southern Uplands de Escocia, uno de los geólogos de la excursión me dice que aquello no pasa de *smirr*, de chirimiri.

Nuestro destino es un lugar llamado Dob's Linn en el cual, a decir de una antigua balada, el mismísimo diablo fue empujado hasta un precipicio por un pío pastor llamado Dob. Cuando alcanzamos el despeñadero, el *smirr* ya es algo más que un calabobos. Hay una vista sobre una cascada que se precipita hacia un valle estrecho. Unos pocos metros más arriba, siguiendo el sendero, se llega a un escarpado afloramiento de roca con franjas verticales claras y oscuras, como el jersey de un árbitro. Jan Zalasiewicz, un estratígrafo de la Universidad de Leicester, deja su mochila sobre el suelo empapado y se ajusta el impermeable rojo. Me señala una de las bandas de color más claro. «Ahí no pasó nada bueno», me dice.



La cascada de Dob's Linn. John Scott/E+/Getty Images.

Las rocas que examinamos datan de hace unos 445 millones de años, de la última parte del periodo Ordovícico. Por aquel entonces, el planeta estaba experimentando una

tremenda congestión: la mayor parte de las tierras emergidas (incluidas las que hoy forman África, América del Sur, Australia y la Antártida) estaban juntas formando una sola masa, Gondwana, que se extendía sobre más de 90 grados de latitud. Inglaterra pertenecía al continente (hoy perdido) de Avalonia, y Dob’s Linn se hallaba en el hemisferio sur, en el fondo de un océano conocido como Jápeto.

El periodo Ordovícico siguió inmediatamente al Cámbrico, conocido por cualquiera que tenga el más mínimo interés por la geología a causa de la «explosión» de nuevas formas de vida que aparecieron entonces.[*] El Ordovícico fue también un tiempo en el que la vida tomó excitadamente nuevas direcciones (en lo que se conoce como radiación ordovícica), aunque en su mayor parte permaneció confinada al agua. Durante el Ordovícico, el número de familias marinas se triplicó, y los océanos se llenaron de criaturas que más o menos podríamos reconocer (los progenitores de las actuales estrellas y erizos de mar, y de las caracolas y los nautilos), pero también muchas que no reconoceríamos (conodontes, que probablemente tuvieran forma de anguilas; trilobites, que se parecen un poco a la cacerola de las Molucas; y escorpiones marinos gigantes, que, hasta donde sabemos, tenían el aspecto de un monstruo nacido de una pesadilla). Aparecieron los primeros arrecifes, y los antepasados de las actuales almejas adoptaron la forma que hoy tienen. Hacia la mitad del Ordovícico, las primeras plantas comenzaron a colonizar las tierras. Se trataba de primitivos musgos y hepáticas que se aferraban al suelo como si no estuvieran del todo seguros de cómo era su entorno.

A finales del Ordovícico, hace unos 444 millones de años, los océanos se vaciaron y se extinguieron alrededor del 85%[5] de las especies marinas. Durante mucho tiempo,

este acontecimiento se vio como una de aquellas seudocatástrofes que tan sólo nos indicaban lo poco que podíamos fiarnos del registro fósil. En la actualidad, lo vemos como la primera de las Cinco Grandes Extinciones, y se cree que tuvo lugar en dos pulsos breves pero intensamente mortíferos. Aunque sus víctimas no son de ningún modo tan carismáticas como las que perecieron al final del Cretácico, también marca un punto de inflexión en la historia de la vida, un momento en el que las reglas del juego se trastornaron repentinamente con consecuencias que, a todos los efectos, durarán para siempre.

Los animales y las plantas que sobrevivieron a la extinción del Ordovícico «pasaron a construir el mundo moderno», según ha observado el paleontólogo británico Richard Fortey. «Si la lista de supervivientes hubiera sido distinta en lo más mínimo, también lo sería ahora nuestro mundo.»[6]

Zalasiewicz, mi guía en Dob’s Linn, es un hombre de constitución ligera, pelo revuelto, ojos azules y claros y ademanes agradablemente formales. Es un experto en graptolitos, un clase de organismos marinos en otros tiempos vasta y extraordinariamente diversa que prosperó durante el Ordovícico y luego, en el evento de extinción, estuvieron a punto de desaparecer del todo. A simple vista, los fósiles de graptolitos parecen arañazos o, en algunos casos, diminutos petroglifos. (La palabra «graptolito» proviene de griego y significa «roca escrita»; fue acuñada por Linneo, que los desestimó, tomándolos por incrustaciones minerales con pretensiones de restos de animales.) A través de una lupa, a menudo manifiestan formas hermosas y evocadoras; una especie sugiere una pluma, otra una lira, una tercera la fronda de un helecho.

Los graptolitos eran animales coloniales; cada individuo, o zooide, se construía un pequeño refugio tubular diminuto, o teca, que estaba pegado al de su vecino, como una hilera de casas adosadas. Por consiguiente, cada fósil de graptolito representa una comunidad entera que se dejaba arrastrar o, más probablemente, nadaba como una sola entidad, alimentándose de plancton aún más pequeño. Nadie sabe con exactitud qué aspecto tenían los zooides (como pasa con los amonites, las partes blandas de estos organismos no se preservaron), pero hoy se cree que estaban relacionados con los pterobranquios, una clase de organismos marinos actuales pequeños y difíciles de encontrar que recuerdan a las Venus atrapamoscas.

Los graptolitos tenían un hábito que los hace adorables entre los estratígrafos: generaban nuevas especies que en relativamente poco tiempo se distribuían ampliamente y se extinguían. Zalasiewicz los compara con Natasha, la tierna heroína de *Guerra y paz*. Eran, según decía, «delicados, nerviosos y muy sensibles a las cosas que los rodeaban». Esto los convierte en útiles fósiles indicadores: especies sucesivas que pueden utilizarse para identificar capas sucesivas de rocas.

Encontrar graptolitos en Dob's Linn resulta fácil incluso para los recolectores más aficionados. La piedra oscura del escarpado afloramiento es un esquisto sedimentario. Basta con dar un golpecito para mover un trozo. Otro golpe lo parte lateralmente. Se divide como un libro abierto en una página bien marcada. A menudo en la superficie pétrea no hay nada que ver, pero muchas otras veces se encuentra una o más marcas débiles, mensajes de un mundo pretérito. Uno de los graptolitos que encuentro resulta haberse preservado con especial claridad. Tiene la forma de un conjunto de pestañas postizas, pero muy pequeñas, como si

fueran para un Barbie. Zalasiewicz me explica, sin duda exagerando, que he encontrado un «espécimen de museo». Me lo guardo en el bolsillo.



Fósiles de graptolitos del Ordovícico temprano. British and Irish Graptolite Group.

Una vez que Zalasiewicz me explica qué tengo que buscar, también yo soy capaz de distinguir el arco de la extinción. En los esquistos negros, los graptolitos son abundantes y variados. Enseguida encuentro tantos que me pesan los bolsillos de la chaqueta. Muchos de los fósiles son variaciones sobre la letra «V», con dos brazos que divergen a partir de un nodo central. Algunos parecen cremalleras, otros espoletas. Aun otros tienen ramas que nacen de las ramas, como si fueran árboles en miniatura.

La piedra más clara, en cambio, es yerma. A duras penas se puede encontrar un solo graptolito. La transición de un estado a otro, de la piedra negra a la gris, de muchos

graptolitos a casi ninguno, parece haberse producido de forma repentina y, a decir de Zalasiewicz, así fue en efecto.

«El cambio del negro al gris marca un punto de inflexión, por así decirlo, de un fondo marino habitable a otro inhabitable», me explica. «Y uno podría haberlo visto en el curso de una vida humana.» Describe esta transición como claramente «cuvieriana».

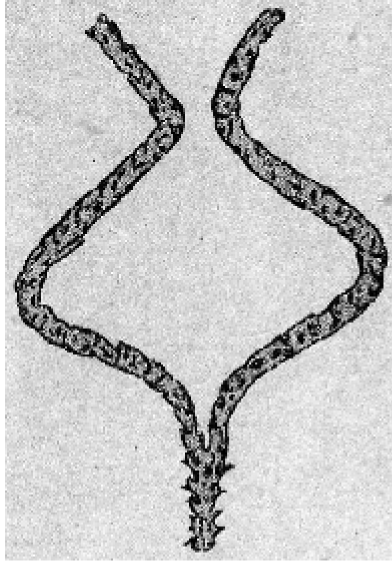
Dos de los colaboradores de Zalasiewicz, Dan Condon y Ian Millar, de Servicio Geológico Británico, nos han acompañado en la excursión a Dob's Linn. Los dos son expertos en química de isótopos y tienen la intención de recoger muestras de cada una de las bandas del afloramiento, unas muestras que esperan que contengan pequeños cristales de circón. De vuelta en el laboratorio disolverán los cristales y los analizarán con la ayuda de un espectrómetro de masas. Esto les permitirá decir, medio millón de años arriba o abajo, cuándo se formó cada una de las bandas. Millar es escocés y se mantiene impávido ante el *smirr*, pero al final incluso él tiene que admitir que llueve a cántaros. Por la cara del afloramiento discurren finas corrientes de lodo que hacen que resulte imposible obtener muestras limpias. Decidimos intentarlo de nuevo al día siguiente. Los tres geólogos empaquetan sus equipos, y descendemos chapoteando hasta el coche. Zalasiewicz ha reservado habitaciones en un hostal del cercano pueblo de Moffat, cuyas atracciones, según he leído, incluyen el hotel más estrecho del mundo y una oveja de bronce.

Después de cambiarnos y ponernos ropa seca, nos encontramos en la sala de estar del hostal para tomar el té. Zalasiewicz ha traído consigo varias de sus publicaciones recientes sobre los graptolitos. Condon y Millar se acomodan en sus sofás y hacen un gesto de fastidio. Zalasiewicz los ignora y me explica pacientemente la importancia de su última monografía, «Graptolites in British

Stratigraphy», que ocupa 66 páginas a un espacio e incluye ilustraciones detalladas de más de 650 especies. En la monografía, los efectos de la extinción aparecen de una forma más sistemática que en la colina lamida por la lluvia, pero sin duda menos vívidamente. Hasta el final del Ordovícico, predominaron los graptolitos con forma de «V», con especies como *Dicranograptus ziczac*, cuyas copas diminutas se disponían a lo largo de brazos que se apartaban primero para acercarse después, como si formaran una cornamenta, y *Adelograptus divergens*, que, además de sus dos brazos principales, tenía pequeños brazos laterales que sobresalían como pulgares. Sólo un puñado de especies de graptolitos sobrevivieron al evento de extinción; más tarde, éstos se diversificaron y volvieron a poblar los mares del Silúrico. Pero los graptolitos del Silúrico tenían un plan corporal más simplificado, más parecido a un palo que a un ramaje. La forma en «V» se había perdido, y no volvería a aparecer nunca más. Aquí, en letra mucho más pequeña, está escrito el mismo destino de los dinosaurios, los mosasauros y los amonites: una forma en otro tiempo de enorme éxito queda relegada al olvido.

* * *

¿Qué ocurrió hace 444 millones de años que casi aniquiló los graptolitos, por no hablar de los conodontes, los braquiópodos, los equinodermos y los trilobites?



Dibujo del graptolito *Dicranograptus ziczac*, a un tamaño varias veces mayor que el real. EMR Wood/ Palaeontolographical Society.

Durante los años que siguieron a la publicación de la hipótesis de los Alvarez, solía creerse (al menos entre quienes consideraban que la hipótesis era algo más que una «bobada») que ya se disponía de una teoría unificada de las extinciones en masa. Si un asteroide había producido una «brecha» en el registro fósil, parecía razonable esperar que otros impactos hubieran causado las otras. Esta idea recibió un impulso en 1984, cuando un par de paleontólogos de la Universidad de Chicago publicó un análisis global del registro fósil marino. El estudio reveló que, además de las cinco grandes extinciones, se habían producido muchos otros eventos menores de extinción. Cuando todos estos se examinaban conjuntamente, se ponía de manifiesto una pauta: las extinciones en masa parecían haberse producido a intervalos regulares de aproximadamente veintiséis millones de años. En otras palabras, las extinciones ocurrían en episodios periódicos, como la emergencia de las cícadas de la tierra. Los dos paleontólogos,[7] David Raup y Jack Sepkoski, no estaban seguros de qué había causado aquellos episodios, pero su conjetura más firme era que se

trataba de algún «ciclo astronómico y astrofísico», que tendría algo que ver con «el paso de nuestro sistema solar por los brazos espirales de la Vía Láctea». Un grupo de astrofísicos (casualmente, compañeros de los Alvarez en Berkeley) llevó la especulación un paso más adelante. La periodicidad, argumentó el grupo, podía explicarse por una pequeña «estrella compañera» del Sol, que cada 26 millones de años pasara por la nube de Oort produciendo lluvias de cometas que provocaban la destrucción en la Tierra. El hecho de que nadie hubiera visto esta estrella, apodada, con aires de película de terror, «Némesis», era, para el grupo de Berkeley, un problema, pero no insuperable; había en el firmamento montones de pequeñas estrellas esperando a ser catalogadas.

En los medios de comunicación populares, lo que dio en conocerse como «asunto Némesis» generó casi tanta excitación como la hipótesis original del asteroide. (Un periodista dijo de la historia que lo tenía todo salvo el sexo y la familia real.)[8] *Time* publicó un artículo de portada, que no tardó en ser seguido por otro editorial reprobador[9] en el *New York Times*. (El editorial desdeñaba la idea de una «misteriosa estrella de la muerte».) Esta vez, el periódico andaba en lo cierto. Aunque el grupo de Berkeley pasó algo más de un año buscando a Némesis por el firmamento, no encontró ni el más leve atisbo de una «estrella de la muerte». Más significativo es el hecho de que, tras nuevos análisis, la evidencia de la periodicidad comenzó a desvanecerse. «Si hay algún consenso, es que lo que veíamos no era más que una coincidencia estadística», me dijo David Raup.

Entre tanto, la búsqueda de iridio y otros signos de impactos extraterrestres no estaba dando resultados. Junto a muchos otros, Luis Alvarez se había apuntado a la caza. En un momento en que la colaboración científica con los

chinos era prácticamente inaudita, se las arregló para obtener muestras de rocas del sur de China que cubrían todo el límite entre los periodos Pérmico y Triásico. La extinción de finales del Pérmico o permo-triásica fue la mayor de las Cinco Grandes, un episodio que se acercó de manera alarmante a acabar con toda la vida multicelular. Luis comprobó entusiasmado que había una capa de arcilla entre las bandas de roca del sur de China, igual que en Gubbio. «Estábamos seguros de encontrar montones de iridio allí»,[10] recordaría más tarde. Pero la arcilla china resultó ser, desde un punto de vista químico, de lo más mundana, con un contenido de arcilla demasiado infinitesimal para medirla. Posteriormente se detectaron niveles de iridio superiores a los normales en rocas de finales del Ordovícico procedentes, entre otros lugares, de Dob’s Linn. Sin embargo, ninguno de los otros signos inequívocos de un impacto, como el cuarzo chocado, aparecieron dentro del marco temporal esperado, y se determinó que a los niveles de iridio elevados se les podía dar una explicación más plausible, aunque menos espectacular, relacionada con los azares de la sedimentación.

La teoría actual es que la extinción de finales del Ordovícico fue causada por una glaciación. Durante la mayor parte del periodo predominó lo que se conoce como un clima de invernadero: los niveles de dióxido de carbono en el aire eran elevados, así como los niveles del mar y las temperaturas. Pero justo alrededor del momento del primer pulso de extinción, el que provocó tantos daños entre los graptolitos, los niveles de $CO_2$ descendieron. Las temperaturas cayeron y Gondwana se congeló. Se han hallado pruebas de una glaciación ordovícica en restos del supercontinente tal alejados como Arabia Saudí, Jordania y Brasil. Los niveles del mar cayeron en picado, y muchos

hábitats marinos desaparecieron, supuestamente en perjuicio de organismos marinos. También cambió la química de los océanos; entre otras cosas, el agua más fría puede contener más oxígeno en disolución. Nadie sabe con certeza si fue el cambio de temperatura o uno de sus muchos efectos colaterales lo que acabó con los graptolitos; tal como me lo explicó Zalasiewicz, «Tienes un muerto en la biblioteca y media docena de mayordomos merodeando por allí con expresión avergonzada». Tampoco sabe nadie qué provocó inicialmente el cambio. Una teoría sostiene que la glaciación fue producida por los primeros musgos que colonizaron la Tierra y, al hacerlo, contribuyeron a sacar dióxido de carbono del aire. De ser así, la primera extinción en masa de los animales habría sido causada por las plantas.[11]

La extinción de finales del Pérmico también parece haber sido desencadenada por un cambio climático. Sin embargo, en este caso el cambio fue en la dirección opuesta. Justo en el momento de la extinción, hace 252 millones de años, se produjo una liberación masiva de carbono a la atmósfera, tan masiva que a los geólogos les cuesta incluso imaginar de dónde podría haber venido todo aquel carbono. Las temperaturas ascendieron (los océanos se calentaron hasta 10 grados)[12] y la química de los océanos se volvió loca, como en un acuario fuera de control. El agua se acidificó, y la cantidad de oxígeno disuelto cayó tanto que muchos organismos probablemente se asfixiaran. Los arrecifes se colapsaron. La extinción de finales del Pérmico tuvo lugar, aunque no exactamente en la duración de una vida humana, en términos geológicos de una forma casi tan abrupta; de acuerdo con las últimas investigaciones de científicos chinos y americanos, el episodio[13] entero no duró más de 200.000 años, tal vez menos de 100.000. Para cuando finalizó, alrededor del 90% de todas las especies de

la Tierra se habían extinguido. Incluso un calentamiento global intenso y la acidificación de los océanos parecen inadecuados para explicar pérdidas a una escala tan estremecedora, por lo que se están buscando otros mecanismos adicionales. Una hipótesis[14] propone que el calentamiento de los océanos favoreció a las bacterias que producen sulfuro de hidrógeno, que es tóxico para casi todas las otras formas de vida. Según este escenario, el sulfuro de hidrógeno se habría acumulado en el agua, matando a los organismos marinos, y luego se habría escapado hacia la atmósfera, matando a casi todo lo demás. Las bacterias reductoras de sulfato cambiaron el color de los océanos y el sulfuro de hidrógeno, el color del cielo; el autor de divulgación científica Carl Zimmer ha descrito el mundo de finales del Pérmico como una «lugar verdaderamente grotesco»[15] en el que unos mares vidriosos de color púrpura producían burbujas venenosas que ascendían «hacia un cielo verde pálido».

Si hace 25 años parecía que todas las extinciones en masa se podrían atribuir a una misma causa, ahora parece que lo contrario es lo cierto. Como en Tolstoy, cada evento de extinción parece ser infeliz (fatalmente infeliz) a su propia manera. De hecho, podría ser que la propia rareza de los acontecimientos los hiciera tan mortíferos; de repente, los organismos debían enfrentarse a condiciones para las que, evolutivamente, no estaban en absoluto preparados.

«Creo que, después de que las pruebas resultasen ser sólidas para el impacto al final del Cretácico, quienes trabajábamos en esto ingenuamente esperábamos encontrar indicios de impactos coincidiendo con los otros eventos», me dijo Walter Alvarez. «Y ha resultado ser mucho más complejo. Ahora vemos que una extinción en

masa puede ser causada por los seres humanos. Así que está claro que no tenemos una teoría general de las extinciones en masa.»

Aquella noche en Moffat, cuando todos habíamos tenido bastante de té y graptolitos, nos fuimos al pub de la planta baja del hotel más estrecho del mundo. Tras una o dos pintas, la conversación viró hacia otro de los temas favoritos de Zalasiewicz: las ratas gigantes. Las ratas han seguido a los humanos prácticamente a todos los rincones del mundo, y la opinión profesional de Zalasiewicz es que algún día invadirán la Tierra.

«Algunas probablemente mantengan la forma y el tamaño de las ratas», me explicó. «Pero otras podían reducir o aumentar su tamaño. En particular, si ha habido una epidemia y queda ecoespacio disponible, las ratas podrían encontrarse en la mejor posición para aprovechar la oportunidad. Sabemos que el cambio de tamaño puede producirse bastante deprisa.» Recordé que en una ocasión vi cómo una rata arrastraba la corteza de una pizza por los raíles de una estación de metro de Upper West Side. Me la imaginé con el tamaño de un dóberman correteando por un túnel vacío.

Aunque la conexión pueda parecer tenue, el interés de Zalasiewicz por las ratas gigantes representa una extensión lógica de su interés por los graptolitos. Le fascina el mundo que precedió a los humanos y también, y cada vez más, el mundo que dejaremos los humanos. Uno de los proyectos sustenta el otro. Cuando estudia el Ordovícico, intenta reconstruir el pasado distante sobre la base de las pistas fragmentarias que nos han llegado: fósiles, isótopos de carbono, capas de rocas sedimentarias. Cuando contempla el futuro, intenta imaginar qué quedará del presente una

vez que el mundo contemporáneo quede reducido a fragmentos: fósiles, isótopos de carbono, capas de roca sedimentaria. Zalasiewicz está convencido de que cualquier estratígrafo medianamente competente podrá, a la distancia de un centenar de millones de años, llegar a la conclusión de que algo extraordinario ocurrió en el momento del tiempo que para nosotros es el ahora. Y eso incluso si tenemos en cuenta que de aquí a un millón de años todo lo que consideramos las grandes obras de la humanidad, como esculturas y biblioteca, monumentos y museos, ciudades y fábricas, estará comprimido en una capa de sedimento no más gruesa que el papel de fumar.[16] «Ya hemos dejado un registro indeleble»,[17] ha escrito Zalasiewicz.

Una de las maneras en que lo hemos hecho es a través de nuestra inquietud. Muchas veces intencionadamente, otras tantas inadvertidamente, los humanos hemos redistribuido la biota de la Tierra, transportando la flora y fauna de Asia a América, la de América a Europa y la de Europa a Australia. Las ratas siempre han estado a la vanguardia de estos movimientos, y han dejado sus huesos dispersos por todo el planeta, incluso en islas tan remotas que los humanos nunca se han molestado en poblarlas. La rata del Pacífico, *Rattus exulans*, originaria del sureste asiático, viajó con los navegantes polinesios hasta, entre otros lugares, Hawái, Fiyi, Tahití, Tonga, Samoa, isla de Pascua y Nueva Zelanda. Al encontrarse con pocos depredadores, estos polizones se multiplicaron hasta lo que el paleontólogo neozelandés Richard Holdaway ha descrito como «una gran marea de ratas»[18] que ha convertido «todo lo comestible en proteína de rata». (Un estudio reciente del polen[19] y los restos de animales de la isla de Pascua llegó a la conclusión de que no fueron los humanos quienes deforestaron el paisaje, sino las ratas que aprovecharon el

viaje y luego se reprodujeron sin control. Las palmeras autóctonas no podían producir semillas al ritmo suficiente para compensar el apetito de las ratas.) Cuando los europeos llegaron a América y luego siguieron hacia el oeste hasta las islas que los polinesios habían poblado, llevaron consigo una especie de rata que tiene una facilidad incluso mayor para adaptarse, la rata gris, *Rattus norvegicus*. En muchos lugares, la llamada rata noruega, que en realidad es originaria de China, desplazó competitivamente a las anteriores ratas invasoras y, tras hacerlo, diezmó las poblaciones de aves y reptiles a las que las ratas del Pacífico no habían afectado. Por consiguiente, podría decirse que las ratas han creado su propio «ecoespacio», que su progenie parece estar bien posicionada para dominar. De acuerdo con Zalasiewicz, los descendientes de las ratas actuales experimentarán una radiación que las llevará a ocupar los nichos que *Rattus exulans* y *Rattus norvegicus* ayudaron a vaciar. Imagina que las ratas del futuro pueden evolucionar hacia nuevas formas y tamaños, algunas «más pequeñas que las musarañas», otras grandes como elefantes. «Por pura curiosidad y para abrirnos a todas las opciones —ha dejado escrito—, podríamos incluir entre ellas una especie o dos de roedores grandes y desnudos que vivan en cavernas, hagan herramientas primitivas con piedras y se vistan con las pieles de otros animales que hayan matado y comido.»[20]

En cualquier caso, con independencia de lo que depare el futuro a las ratas, el evento de extinción que están ayudando a producir dejará su propia marca distintiva. Todavía no es tan drástica, ni de lejos, como la que ha quedado registrada en las lutitas de Dob’s Linn o en la capa de arcilla de Gubbio, pero sin duda aparecerá en las rocas como un punto de inflexión. El cambio climático, que por sí

mismo ya es un motor de extinción, también dejará trazas geológicas, al igual que la lluvia radiactiva, el desvío de ríos, la agricultura monocultivo o la acidificación del océano.

Por todas estas razones, Zalasiewicz cree que hemos entrado en una nueva época que no tiene ningún análogo en la historia de la Tierra. «Geológicamente —ha observado— se trata de un episodio muy notable.»

A lo largo de los años se han sugerido diversos nombres para la nueva era que hemos iniciado los humanos. El destacado conservacionista Michael Soulé ha sugerido que en lugar de en el Cenozoico, hoy vivimos en la era «Catastrofozoica». Michael Samways, un entomólogo de la Universidad Stellenbosch, de Sudáfrica, ha propuesto el término «Homogenoceno». Daniel Pauly, un biólogo marino canadiense, ha sugerido el término «Mixoceno», por la palabra griega que significa «lodo», y Andrew Revkin, un periodista norteamericano, nos ha brindado «Antroceno». (La mayoría de estos términos deben su origen, al menos indirectamente, a Lyell, que en la década de 1830 acuñó las palabras Eoceno, Mioceno y Plioceno.)

La palabra «Antropoceno» es invención de Paul Crutzen, un químico holandés que compartió el premio Nobel por el descubrimiento de los efectos de los compuestos que reducen el ozono. La importancia de este descubrimiento es difícil de exagerar; si no se hubiese realizado y hubiésemos seguido usando aquellos compuestos, el «agujero» de ozono que cada primavera se abre sobre la Antártida se habría expandido hasta rodear la Tierra entera. (Se dice que uno de los científicos que compartieron el premio Nobel con Crutzen volvió un día a casa desde el laboratorio y le dijo a su esposa: «el trabajo va bien, pero parece que llega el fin del mundo».)

Crutzen me dijo que la palabra «Antropoceno» se le ocurrió en una reunión. El moderador no dejaba de referirse al Holoceno, la época «totalmente reciente» que comenzó al finalizar la última edad de hielo, hace 11.700 años, y que continúa (al menos oficialmente) hasta el día de hoy.

«Acabemos con esto», recordaba haber soltado Crutzen. «Ya no estamos en el Holoceno; estamos en el Antropoceno.» Y por un momento la sala se quedó en silencio. En la siguiente pausa para el café, el Antropoceno era el principal tema de conversación. Alguien se acercó a Crutzen y le sugirió que patentara el término.

Crutzen puso por escrito sus ideas en un breve ensayo, «Geology of Mankind» («La geología de la humanidad»), que publicó *Nature*. «Parece apropiado asignar el término "Antropoceno" a la actual época geológica, de tantas maneras dominada por los humanos», hacía notar. De los muchos cambios a escala geológica que han efectuado los humanos, Crutzen citaba los siguientes:

- La actividad humana ha transformado entre una tercera parte y la mitad de la superficie terrestre del planeta.
- La mayoría de los principales ríos del mundo están regulados o trasvasados.
- Las plantas de fertilizantes producen más nitrógeno del que fijan de forma natural todos los ecosistemas terrestres del mundo.
- Las pesquerías extraen más de una tercera parte de la producción primaria de las aguas costeras de los océanos.
- Los humanos usan más de la mitad del agua dulce fácilmente accesible del mundo.

Pero lo más significativo, a decir de Crutzen, era que los humanos habíamos alterado la composición de la atmósfera. Por una combinación de la quema de combustibles fósiles y la deforestación, la concentración de dióxido de carbono en el aire ha subido en un 40% durante los dos últimos siglos, en tanto que la concentración de metano, un gas invernadero todavía más potente, se ha más que doblado.

«A causa de estas emisiones antropogénicas»,[21] escribía Crutzen, el clima global probablemente «se desvíe de forma significativa de su comportamiento natural durante muchos milenios en el futuro».

Crutzen publicó «Geology of Mankind» en 2002, y enseguida el «Antropoceno» comenzó a migrar a otras revistas científicas.

«Global Analysis of River Systems: From Earth System Controls to Anthropocene Syndromes» («Análisis global de los sistemas fluviales: de los controles del sistema Tierra a los síndromes antropocénicos») es el título de un artículo publicado en 2003 en la revista *Philosophical Transactions of the Royal Society B*.

«Soils and Sediments in the Anthropocene» («Suelos y sedimentos en el Antropoceno») fue el título de un artículo de 2004 en el *Journal of Soils and Sediments*.

Cuando Zalasiewicz encontró el término, quedó intrigado. Se dio cuenta de que la mayoría de quienes lo utilizaban no eran estratígrafos, y se preguntó qué pensaban sus colegas sobre aquello. Por aquel entonces, era el presidente del comité de estratigrafía de la Sociedad Geológica de Londres, la misma que en otro tiempo había presidido Lyell, así como William Whewell y John Phillips. Durante una comida de trabajo, Zalasiewicz les preguntó a los integrantes del comité qué pensaban del Antropoceno. Veintiuno de los veintidós asistentes creían que el concepto era valioso.

El grupo decidió examinar la idea como un problema formal de la geología. ¿Satisface el Antropoceno los criterios utilizados en la nomenclatura de las épocas? (Para los geólogos, una época es una subdivisión de un periodo, que, a su vez, es una división de una era: el Holoceno, por ejemplo, es una época del Cuaternario, que es un periodo de la era Cenozoica.) La respuesta a la que llegaron los miembros fue un «sí» sin reservas. Decidieron que el tipo de cambios que Crutzer había enumerado dejarían a su paso una «firma estratigráfica» que todavía sería visible dentro de millones de años, del mismo modo que, por ejemplo, la glaciación del Ordovícico dejó una «firma estratigráfica» que todavía podemos leer hoy. Entre otras cosas, los miembros del grupo hicieron notar, en un artículo que resumía sus conclusiones, que el Antropoceno estaría marcado por una «señal bioestratigráfica» única, resultado, de un lado, del actual evento de extinción, y del otro, de la propensión humana por redistribuir la vida. Esta señal quedará permanentemente inscrita, proseguía su artículo, «dado que la evolución futura se producirá a partir de las formas supervivientes (y frecuentemente translocadas)».[22] O, como diría Zalasiewicz, las ratas.

Para cuando visité Escocia, Zalasiewicz había llevado el caso del Antropoceno al siguiente nivel. La Comisión Internacional de Estratigrafía, o ICS (por sus siglas en inglés), es el grupo responsable de mantener la escala de tiempo oficial de la historia de la Tierra. Es el ICS quien dirime cuestiones como cuándo comenzó exactamente el Pleistoceno. (Tras un acalorado debate, la comisión decidió recientemente desplazar el inicio de esa época de hace 1,8 a hace 2,6 millones de años.) Zalasiewicz había convencido al ICS de que examinara la posibilidad de reconocer formalmente el Antropoceno, una tarea a cargo de la cual, lógicamente, le pusieron a él. Como presidente del Grupo

de Trabajo sobre el Antropoceno, Zalasiewicz espera presentar una propuesta para que la vote la comisión entera en 2016. Si lo consigue y se adopta el Antropoceno como nueva época, todos los libros de texto de geología del mundo inmediatamente quedarán obsoletos.

# 6

# El mar que nos rodea

*Patella caerulea*

Castello Aragonese es una isla diminuta que emerge como una torre del mar Tirreno. A dieciocho millas al oeste de Nápoles, puede llegarse aquí desde Isquia, una isla más grande, a través de un largo y estrecho puente de piedra. Al final del puente hay una taquilla donde por diez euros se puede comprar una entrada para subir (mejor en ascensor) a lo alto del enorme castillo que da nombre a la isla. El castillo alberga una exhibición de instrumentos medievales de tortura, además de un bonito hotel y un café con terraza. En una tarde de verano, el café debe ser un lugar agradable donde disfrutar de un Campari mientras se contemplan los horrores del pasado.

Como tantos otros lugares pequeños, Castello Aragonese es el producto de fuerzas muy poderosas, en este caso la deriva de África hacia el norte, que cada año acerca Trípoli a Roma en algo más de un centímetro. A lo largo de un complejo conjunto de pliegues, la placa africana ejerce presión sobre Eurasia como una lámina de metal empujada al interior de un horno. De tanto en cuando, este proceso produce violentas erupciones volcánicas. (Una de esas erupciones, la de 1302, hizo que toda la población de Isquia buscara refugio en Castello Aragonese.) De forma

más regular, envía corrientes de gas que burbujean por el fondo del mar. Este gas resulta estar compuesto casi en su totalidad por dióxido de carbono.

El dióxido de carbono tiene muchas propiedades interesantes, una de las cuales es que se disuelve en el agua formando un ácido. He venido a Isquia a finales de enero, en lo más profundo de la temporada baja, con la intención de nadar en su burbujeante bahía ácida. Dos biólogos marinos, Jason Hall-Spencer y Maria Cristina Buia, han prometido enseñarme los respiraderos, siempre y cuando se demore la tormenta que anuncian las previsiones. Hace un día gris y desabrido, pero avanzamos lentamente en un barco de pesca convertido en busque de investigación. Doblamos Castello Aragonese y echamos el ancla a unos veinte metros de sus acantilados rocosos. Desde el barco no se pueden ver los respiraderos, pero se aprecian señales de su presencia. La franja blanquecina de bellotas de mar que da la vuelta a la base de la isla se interrumpe encima de las emisiones submarinas.

«Las bellotas de mar son bastante resistentes», me hace notar Hall-Spencer. Es británico, y su pelo rubio manchado se dispara en direcciones impredecibles. Lleva un traje seco, una especie de traje de buceo diseñado para que quien lo lleva nunca se moje, y parece que se esté preparando para un viaje espacial. Buia es italiana, y su pelo castaño rojizo le llega a los hombros. Se desviste hasta quedarse en bañador y con movimientos expertos se pone el traje de buceo. Intento emularla con un traje que he pedido prestado para la ocasión. Cuando subo la cremallera me doy cuenta de que es media talla más pequeño de lo que debería. Nos ponemos las máscaras y las aletas y saltamos por la borda.

El agua está helada. Hall-Spencer lleva un cuchillo con el que arranca de la roca unos cuantos erizos de mar para mostrármelos. Sus espinas son negras como el tizón. Nadamos siguiendo la costa sur de la isla, hacia los respiraderos. Hall-Spencer y Buia se paran constantemente para recoger muestras (corales, caracolas, algas, mejillones) que guardan en bolsas de malla que arrastran tras de sí por el agua. Cuando nos acercamos lo suficiente, comienzo a ver burbujas que ascienden desde el fondo como cuentas de mercurio. Debajo de nosotros hay una pradera marina. Las frondes de las plantas marinas son de un color verde peculiarmente vistoso. Más tarde me entero de que eso se debe a que están desprovistas de los minúsculos organismos que suelen recubrirlos, apagando su color. Cuanto más nos acercamos a los respiraderos, es menos lo que se puede recoger. Los erizos marinos escasean, al igual que los mejillones y las bellotas de mar. Buia encuentra unas desdichadas lapas pegadas al cantil. Tienen la concha tan desgastada que casi es transparente. Flotan en el agua numerosas medusas de un tono apenas un punto más pálido que el del mar.

«Ve con cuidado», me advierte Hall-Spencer. «Pican.»

Desde los inicios de la revolución industrial, los humanos han quemado bastantes combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) como para emitir unos 365.000 millones de toneladas de carbono hacia la atmósfera. La deforestación ha añadido unos 180.000 millones de toneladas más. Cada año, emitimos unos 9.000 millones de toneladas, una cantidad que ha ido creciendo en hasta un 6% anual. A consecuencia de todo esto, la actual concentración atmosférica de dióxido de carbono (algo más de 400 partes por millón)* es más alta que en ningún otro

momento de los últimos 800.000 años. Es muy probable que sea más alta que en cualquier otro momento de los últimos millones de años. Si se mantiene la tendencia actual, hacia el año 2050 las concentraciones de $CO_2$ alcanzarán unas 500 partes por millón, aproximadamente el doble del nivel de la época preindustrial. Se espera que un incremento así produzca con el tiempo un aumento de la temperatura media global de entre 2 y 4 grados centígrados, y esto, a su vez, desencadenará varios eventos que afectarán al mundo, entre ellos, la desaparición de la mayoría de los glaciares, la inundación de las islas y ciudades costeras de poca altitud, y la fusión del casquete polar ártico. Pero eso es sólo la mitad de la historia.

Los océanos cubren el 70% de la superficie de la Tierra, y allí donde el agua y el aire entran en contacto, se produce un intercambio. Los gases de la atmósfera son absorbidos por los océanos y los gases disueltos en el océano son liberados a la atmósfera. Cuando los dos están en equilibrio, las cantidades disueltas y las emitidas son aproximadamente iguales. Pero si se cambia la composición de la atmósfera, como hemos hecho, el intercambio se inclina a un lado: entra más dióxido de carbono en el agua del que sale de ella. De este modo, los humanos constantemente añadimos $CO_2$ a los mares, igual que hacen los respiraderos, pero a través de su superficie, no por el fondo, y a una escala global. Sólo este año los océanos absorberán 2.500 millones de toneladas de carbono, y se espera que el próximo año absorban 2.500 millones de toneladas más. Cada americano bombea unos 3 kilogramos de carbono en el mar cada día.

A causa de todo este $CO_2$ adicional, el pH de las aguas superficiales del océano ya ha disminuido desde una media en torno a 8,2 a una media en torno a 8,1. Como la escala Richter, la escala de pH es logarítmica, de modo que incluso

una diferencia numérica tan pequeña representa un cambio muy grande. Una reducción de 0,1 unidades significa que los océanos son un 30% más ácidos en la actualidad que en 1800. Si los humanos seguimos quemando combustibles fósiles, los océanos seguirán absorbiendo dióxido de carbono y continuarán acidificándose. Bajo el escenario que en la jerga se conoce como «*business as usual*» (es decir, como siempre, sin cambiar la tendencia), el pH de la superficie del océano caerá hasta 8,0 a mediados de este siglo, y hasta 7,8 a finales. Para entonces, los océanos serán un 150% más ácidos de lo que eran al comenzar la revolución industrial.*

A causa del $CO_2$ que sale por los respiraderos, las aguas que rodean a Castello Aragonese ofrecen un avance casi perfecto de lo que nos espera en los océanos en general. Es por eso por lo que nado alrededor de la isla en enero, cada vez más entumecida por el frío. Aquí es posible nadar hoy (o incluso, pienso en un momento de pánico, ahogarse hoy) en los mares de mañana.

Para cuando regresamos al puerto de Isquia, se ha levantado viento. La cubierta es un caos de botellas de aire vacías, trajes de buceo chorreando y arcones repletos de muestras. Después de descargar hay que acarrear con todo por las estrechas calles que conducen a la estación de biología marina, que ocupa un empinado promontorio con vistas al mar. La estación fue fundada por el naturalista alemán del siglo XIX Anton Dohrn. Observo que fijada a la pared del recibidor hay una copia de una carta que Charles Darwin envió a Dohrn en 1874. En ella, Darwin expresa su consternación tras enterarse por un amigo común de que Dohrn está agobiado de trabajo.

Instalados en tanques en el laboratorio del sótano, los animales que Buia y Hall-Spencer han recogido alrededor de Castello Aragonese al principio parecen inertes; para mi ojo neófito, incluso muertos. Pero, al cabo de un rato, comienzan a mover sus tentáculos y a buscar comida. Hay una estrella de mar a la que le falta un brazo, y un trozo de un coral de aspecto larguirucho, y algunos erizos de mar, que se desplazan por sus tanques sobre docenas de pies ambulacrales en forma de tubos diminutos. (Cada tubo está controlado hidráulicamente, y se extiende y retrae en respuesta a la presión del agua.) Hay también un pepino de mar de unos quince centímetros que guarda un desafortunado parecido con una morcilla o, peor aún, un zurullo. En el helado laboratorio, el efecto destructor de los respiraderos resulta evidente. *Osilinus turbinatus* es un caracol común en el Mediterráneo cuya concha presenta manchas blancas y negras alternas dispuestas según una pauta que recuerda una piel de serpiente. El *Osilinus turbinatus* del tanque no tiene ningún dibujo: la capa rugosa más exterior de su concha se ha disuelto, dejando expuesta la capa blanca y lisa de su interior. La lapa *Patella caerulea* tiene la forma de un sombrero chino. Varias de las conchas de *Patella caerulea* muestran lesiones profundas a través de las cuales puede verse el cuerpo de color arcilloso de los animales. Parece que alguien los haya sumergido en ácido, que en cierto modo es justamente lo que ha pasado.



Castello Aragonese. John Kleiner.

«Por lo importante que es, el cuerpo humano dedica mucha energía a asegurarse de que el pH de la sangre se mantiene constante», dice Hall-Spencer, alzando su voz para que se le oiga por encima del agua corriente. «Pero algunos de estos organismos inferiores carecen de una fisiología que les permita hacerlo. Tienen que tolerar lo que ocurre en el exterior, así que se ven empujados hasta sus límites.»

Más tarde, mientras comemos pizza, Hall-Spencer me relata su primer visita a los respiraderos. Fue en el verano de 2002, cuando trabajaba en un buque de investigación italiano llamado *Urania*. Un día caluroso que el *Urania* pasaba por Isquia, la tripulación decidió echar ancla y darse un chapuzón. Algunos de los científicos italianos que sabían de la existencia de las emisiones volcánicas llevaron a Hall-Spencer a que las viera, por pasar el rato. Disfrutó de la novedad (nadar entre burbujas es un poco como bañarse en champán), pero la experiencia también le dio que pensar.

Por aquel entonces, los biólogos marinos comenzaban a reconocer la amenaza que suponía la acidificación. Se habían hecho algunos preocupantes cálculos y experimentos preliminares con animales criados en el laboratorio. A Hall-Spencer se le ocurrió que los respiraderos podrían usarse para un tipo de estudio nuevo y más ambicioso. Éste no se limitaría a unas pocas especies criadas en tanques, sino a docenas de especies que vivían y se reproducían en su medio natural (o, si se prefiere, naturalmente no natural).

En Castello Aragonese, las emisiones volcánicas producen un gradiente de pH. En el extremo oriental de la isla, las aguas prácticamente no están afectadas. Esta zona puede verse como el Mediterráneo actual. A medida que nos acercamos a los respiraderos, la acidez del agua aumenta y el pH se reduce. Hall-Spencer razonó que un mapa de la distribución de los organismos a lo largo de este gradiente ambiental representaría un mapa de lo que les espera a los océanos mundiales. Sería como disponer de una máquina del tiempo submarina.

Hall-Spencer necesitó dos años para volver a Isquia. Todavía no tenía fondos para su proyecto, así que le costó conseguir que alguien le tomara en serio. Como no podía permitirse una habitación en un hotel, acampó en un llano cerca de los acantilados. Para recoger muestras usó botellas de agua de plástico. «Era todo un poco al estilo de Robinson Crusoe», me explica.

Por fin consiguió convencer a varias personas, entre ellas Buia, de que estaba sobre la pista de algo importante. Su primera tarea consistió en realizar una prospección detallada de los niveles de pH alrededor de la isla. Luego organizaron un censo de lo que vivía en cada una de las zonas de pH distinto. Para hacerlo, colocaban unos marcos cuadrados de metal a lo largo de la costa y tomaban nota de

todos los mejillones, bellotas de mar y lapas que encontraban adheridos a las rocas. También tuvieron que pasar horas sentados bajo el agua en distintos lugares, contando los peces que pasaban.

En las aguas alejadas de los respiraderos, Hall-Spencer y sus colegas encontraron un conjunto de especies bastante típico del Mediterráneo, entre ellas: *Agelas oroides*, una esponja con aspecto de espuma de aislamiento; *Sarpa salpa*, la salema, un pez que allí se consume habitualmente y que en ocasiones produce alucinaciones; y *Arbacia lixula*, un erizo de mar de un tono lila. En aquella zona también vivía *Amphiroa rigida*, un alga erizada de color rosado, y *Halimeda tuna*, un alga verde que crece formando una serie de discos conectados. (El censo se limitó a organismos lo suficientemente grandes como para distinguirlos a simple vista.) En esta zona libre de burbujas, se contaron 69 especies de animales y 51 especies de algas y plantas.

Cuando Hall-Spencer y su equipo pusieron sus cuadrados más cerca de los respiraderos, el recuento que obtuvieron fue muy distinto.[1] *Balanus perforatus* es una bellota de mar de color grisáceo que recuerda un volcán diminuto. Es común y abundante de Gales a África occidental. En la zona de pH 7,8, que corresponde a los mares de un futuro no muy lejano, *Balanus perforatus* había desaparecido. *Mytilus galloprovincialis*, un mejillón negro-azulado autóctono del Mediterráneo, es tan adaptable que se ha establecido en muchas partes del mundo como invasor. Pero también había desaparecido. Igualmente estaban ausentes *Corallina elongata* y *Corallina officinalis*, dos especies de algas rojas rígidas; *Pomatoceros triqueter*, una especie de gusano poliqueto tubícola; tres especies de coral; varias especies de caracol; y *Arca noae*, un molusco

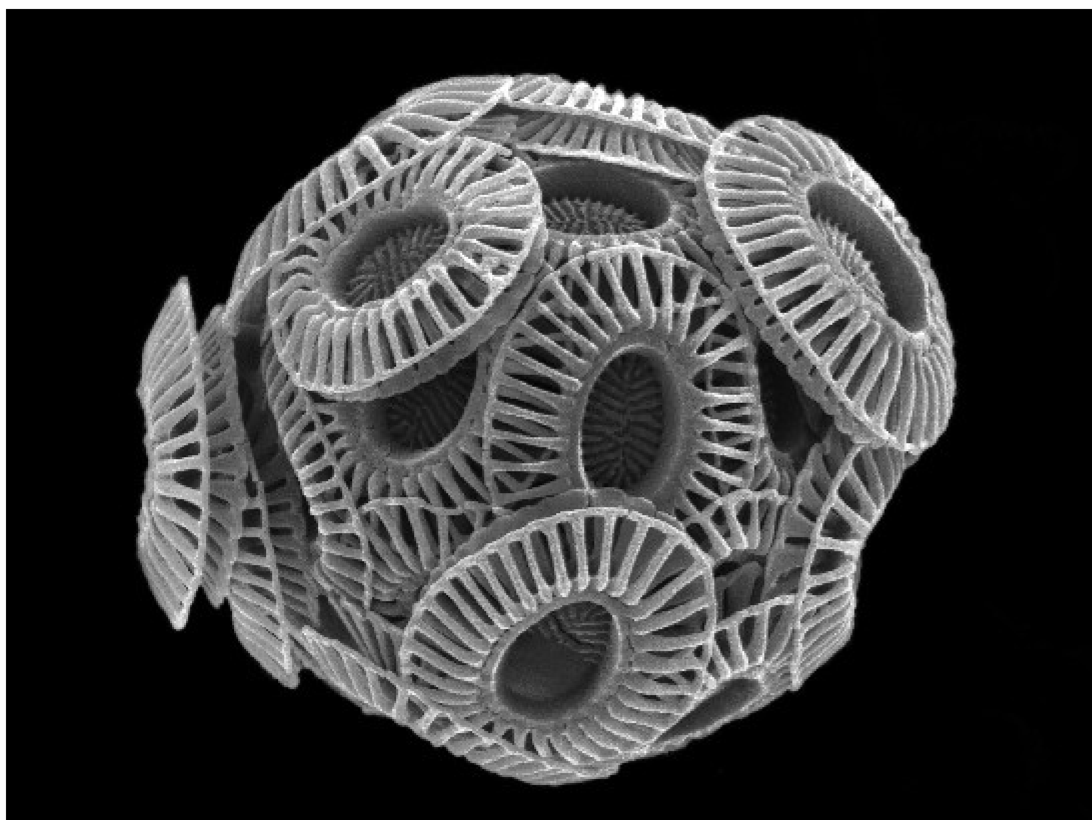
comúnmente conocido como Arca de Noé. En total, una tercera parte de las especies que se encuentran en la zona sin respiraderos no aparecían en la zona de pH 7,8.

«Por desgracia, el punto de inflexión más importante, el punto en el que el ecosistema comienza a colapsarse, es un pH promedio de 7,8, que es lo que esperamos que ocurra hacia 2100», me explica Hall-Spencer con su estilo comedido tan británico. «Así que es bastante alarmante.»

Desde que en 2008 apareció el primer artículo de Hall-Spencer sobre el sistema de respiraderos, se ha producido un extraordinario interés por la acidificación y sus efectos. Se han financiado proyectos internacionales de investigación como BIOACID (Impactos Biológicos de la Acidificación del Océano) y EPOCA (Proyecto Europeo sobre la Acidificación del Océano) y se han realizado cientos, quizá miles de experimentos. Estos experimentos se han llevado a cabo a bordo de barcos, en laboratorios, y en espacios cercados (*enclosures*) conocidos como mesocosmos, que permiten manipular las condiciones de una pequeña sección del propio océano.

Una y otra vez, estos experimentos han confirmado los peligros que supone el aumento del $CO_2$. Aunque a muchas especies aparentemente no les va mal en un océano acidificado, o incluso prosperan, muchas otras se ven afectadas. Algunos de los organismos que se ha podido demostrar que son vulnerables, como los peces payaso y las ostras del Pacífico, son populares por los acuarios o la gastronomía; otros son mucho menos carismáticos (o sabrosos) pero probablemente sean más importantes para los ecosistemas marinos. *Emiliania huxleyi*, por ejemplo, es una especie unicelular del fitoplancton, un cocolitóforo, que se envuelve en una coraza formada por minúsculas placas

de calcita. Bajo el microscopio, recuerda algún tipo de manualidad extravagante: un balón de fútbol cubierto de botones. En ciertas épocas del año es tan abundante que forma mareas blancas, grandes superficies del mar de color lechoso, y constituye la base de muchas cadenas tróficas marinas. *Limacina helicina* es una especie de pterópodo, o «mariposa marina», que se asemeja a un caracol alado. Vive en el Ártico y es una importante fuente de alimento para muchos animales de tamaño mucho mayor, como los arenques, los salmones y las ballenas. Ambas especies parecen ser muy sensibles a la acidificación: en un experimento de mesocosmos,[2] *Emiliania huxleyi* desapareció completamente de los mesocosmos con niveles elevados de $CO_2$.



El cocolitóforo *Emiliania huxleyi*. Steve Gschmeissner/ScienceSource.

Ulf Riebesell es un oceanógrafo biológico del GEOMAR-Centro Helmholtz de Investigación Oceanográfica de Kiel (Alemania), que ha dirigido varios importantes estudios sobre la acidificación del océano en las costas de Noruega, Finlandia y Svalbard. Riebesell ha hallado que los grupos que tienden a prosperar mejor en el agua acidificada son formas del plancton tan pequeñas (menos de dos micrómetros de sección) que forman su propia red trófica microscópica. A medida que aumenta la abundancia de este picoplancton, como se les conoce conjuntamente, acaparan más nutrientes y los organismos de mayor tamaño se ven perjudicados.

«Si me preguntas qué pasará en el futuro, creo que los indicios más sólidos de que disponemos apuntan a que habrá una reducción de la biodiversidad»,[3] me dijo Riebesell. «Algunos organismos muy tolerantes se harán más abundantes, pero en conjunto se perderá diversidad. Eso es lo que ha ocurrido en todos los episodios de extinción en masa.» La acidificación del océano se ha calificado como el «diablo gemelo» del calentamiento global. La ironía es intencionada hasta donde alcanza, que tal vez no sea lo suficiente. Ningún mecanismo explica todas las extinciones en masa del registro, pero los cambios en la química del océano parecen ser un buen predictor. La acidificación del océano desempeñó un papel al menos en dos de las Cinco Grandes (en la de finales del Pérmico y en la de finales del Triásico) y posiblemente fuese un factor importante en una tercera (la de finales del Cretácico). Hay indicios sólidos de que hubo acidificación del océano durante un evento de extinción conocido como Recambio Toarciano, que ocurrió hace 183 millones de años, a principios del Jurásico, e indicios parecidos a finales del Paleoceno, hace 55 millones de años, cuando varias formas de vida marina sufrieron una grave crisis.

«Ah, la acidificación del océano», me había dicho Zalasiewicz en Dob's Linn. «Eso es de lo peorcito que se nos echa encima.»

¿Por qué es tan peligrosa la acidificación del océano? La pregunta es difícil de contestar, ya que la lista de razones es muy larga. Dependiendo de lo finamente que los organismos puedan regular su química interna, la acidificación puede afectar a procesos tan fundamentales como el metabolismo, la actividad enzimática y las funciones de las proteínas. Como cambiará la composición de las comunidades microbianas, alterará la disponibilidad de nutrientes esenciales como el hierro y el nitrógeno. Por razones parecidas, cambiará la cantidad de luz que penetra en el agua y, por razones un tanto distintas, alterará la forma en que se propaga el sonido. (En general, se espera que la acidificación haga los océanos más ruidosos.) Parece probable que promueva el crecimiento de algas tóxicas. Afectará también a la fotosíntesis (muchas especies fotosintetizadoras pueden resultar beneficiadas por unos niveles mayores de $CO_2$) y alterará los compuestos formados por metales disueltos, en algunos casos de tal manera que podrían resultar tóxicos.

De la miríada de posibles impactos, probablemente el más significativo implique al grupo de organismos conocidos como calcificadores. (El término «calcificador» se aplica a cualquier organismo que fabrique una concha o esqueleto externo o, en el caso de las algas y plantas, cualquier forma de andamiaje mineral interno constituido por carbonato cálcico.) Los organismos calcificadores marinos son de una fantástica diversidad. Equinodermos como las estrellas de mar y los erizos de mar son calcificadores, al igual que moluscos como las almejas y las

ostras. También lo son las bellotas de mar y los percebes, que son crustáceos. Muchas especies de coral son calcificadoras; así es como alzan las estructuras que forman los arrecifes. Muchas algas son calcificadoras, y éstas a menudo son rígidas al tacto o quebradizas. Las algas coralinas, unos diminutos organismos que crecen en colonias que se asemejan a una mancha de pintura rosada, también son calcificadoras. Los braquiópodos son calcificadores, y también lo son los cocolitóforos, los foraminíferos y muchos tipos de pterópodos. Y la lista no se agota aquí. Se ha estimado que la calcificación evolucionó por lo menos en dos docenas de ocasiones distintas a lo largo de la historia de la vida, y es bastante probable que haya ocurrido aún más veces.[4]

Desde una perspectiva humana, la calcificación recuerda un poco el trabajo de construcción, pero también la alquimia. Para construir sus conchas o exoesqueletos o placas calcíticas, los calcificadores tienen que unir átomos de calcio ($Ca^{2+}$) con iones carbonato ($CO_{32}^{2}$) para formar carbonato de calcio ($CaCO_3$). Pero a las concentraciones que se encuentran en el agua de mar común, los iones de calcio y carbonato no se combinan. Por consiguiente, en el lugar donde se produce la calcificación, los organismos tienen que alterar la química del agua e imponer su propia química. La acidificación del océano incrementa el coste de la calcificación al reducir el número de iones carbonato disponibles en el agua. Siguiendo con la metáfora de la construcción, es como si uno intentase construir una casa mientras alguien le va robando los ladrillos. Cuanto más acidificada está el agua, mayor es la energía requerida para completar los pasos necesarios. Llegados a cierto punto, el agua se torna corrosiva y el carbonato de calcio comienza a

disolverse. Por eso las lapas que merodeaban demasiado cerca de los respiraderos de Castello Aragonese acababan con agujeros en la concha.

Los experimentos de laboratorio han indicado que los calcificadores se verán especialmente afectados por la caída del pH del océano, y la lista de los organismos que desaparecen en Castello Aragonese lo confirma. En la zona de pH 7,8, tres cuartas partes de las especies desaparecidas[5] son calcificadoras. La lista incluye la ubicua bellota de mar *Balanus perforatus*, el resistente mejillón *Mytilus galloprovincialis* y el gusano tubícola *Pomatoceros triqueter*. Otros calcificadores ausentes son *Lima lima*, un bivalvo común; *Jujubinus striatus*, un caracol de mar de color chocolate; y *Serpulorbis arenarius*, un molusco vermétido con aspecto de gusano tubícola. Por otro lado, las algas calcificadoras están del todo ausentes.

Según los geólogos que trabajan en la zona, los respiraderos de Castello Aragonese llevan emitiendo dióxido de carbono por lo menos varios cientos de años, tal vez más. Cualquier mejillón o bellota de mar o gusano tubícola que pueda adaptarse a un pH menor en un marco temporal de siglos presuntamente ya la habría hecho. «Les das generaciones y generaciones para sobrevivir en esas condiciones, y sin embargo no se encuentran allí», observaba Hall-Spencer.

Además, cuanto más bajo sea el pH, peor les va a los calcificadores. Al lado mismo de los respiraderos, donde las burbujas emanan como columnas de burbujas de $CO_2$, Hall-Spencer encontró que los calcificadores faltaban completamente. De hecho, todo lo que queda en esa zona (el equivalente submarino de un aparcamiento vacío) son unas pocas especies resistentes de algas autóctonas, algunas especies de algas invasoras, una especie de gamba, una esponja y dos tipos de babosa marina.

«No encontrarás ningún organismo calcificador, ni uno solo, en el lugar por donde salen las burbujas», me dijo. «Ya sabes que en un puerto contaminado no quedan más que unas pocas especies que son como malas hierbas y pueden con las condiciones tan cambiantes. Pues, cuando aumenta el $CO_2$, es lo mismo.»

* * *

Aproximadamente una tercera parte del $CO_2$ que los humanos hemos bombeado a la atmósfera hasta el día de hoy ha sido absorbida por los océanos. Eso se traduce en unos impresionantes 150.000 millones de toneladas.[6] Sin embargo, como la mayoría de los aspectos del Antropoceno, no es sólo la magnitud de la transferencia lo que es importante, sino también la velocidad. Puede establecerse una comparación útil (aunque desde luego imperfecta) con el alcohol. Del mismo modo que es muy distinto para la química de la sangre que se tarde un mes o una hora en beber seis latas de cerveza, para la química del océano es muy distinto que el dióxido de carbono se añada a lo largo de un millón de años o en el curso de unos pocos siglos. Para los océanos, igual que para nuestro hígado, la velocidad importa.

Si añadiéramos $CO_2$ al aire más lentamente, entrarían en juego procesos geofísicos, como la meteorización de las rocas, que contrarrestarían la acidificación. Pero todo pasa demasiado deprisa para esas fuerzas que son de acción lenta. Como en cierta ocasión observó Rachel Carson refiriéndose a un problema distinto pero al mismo tiempo profundamente parecido: «El tiempo es el ingrediente esencial, pero en el mundo moderno no tenemos tiempo».[7]

Un grupo de científicos dirigidos por Bärbel Hönisch, del Observatorio de la Tierra Lamont-Doherty de Columbia, ha realizado recientemente una revisión de los indicios de cambios en los niveles de $CO_2$ en el pasado geológico y ha llegado a la conclusión de que, aunque hay en el registro varios episodios graves de acidificación del océano, «ningún evento pasado es parejo» a lo que está ocurriendo en nuestros días, a causa de «la rapidez sin precedentes con la que se está produciendo la actual liberación de $CO_2$». Resulta que no hay tantas maneras de inyectar miles de millones de toneladas de carbono en el aire muy deprisa. La mejor explicación de que disponemos para la extinción de finales del Pérmico es un periodo de vulcanismo masivo en lo que hoy es Siberia. Pero incluso aquel espectacular evento que creó la formación conocida como traps (escaleras) siberianos, probablemente liberó, a una escala anual, menos carbono que nuestros coches, fábricas y centrales eléctricas.[8]

Al quemar los depósitos de carbón y petróleo, los humanos estamos devolviendo al aire un carbono que lleva secuestrado decenas o, en la mayoría de los casos, centenares de millones de años. De este modo, estamos rehaciendo la historia geológica no sólo en el sentido inverso, sino a una velocidad de vértigo.

«Es la tasa de emisión de $CO_2$ lo que hace que el actual experimento sea geológicamente insólito y que probablemente carezca de precedentes en la historia de la Tierra»,[9] observaban Lee Kump, un geólogo de Penn State, y Andy Ridgwell, un modelador del clima de la Universidad de Bristol, en un número especial de la revista *Oceanography* dedicado a la acidificación. Si seguimos por este camino durante mucho tiempo, proseguían estos

autores, «es probable que dejemos como legado del Antropoceno uno de los eventos más notables, y tal vez de los más cataclísmicos, de la historia de nuestro planeta».

# 7

# Gotas de ácido

*Acropora millepora*

A medio mundo de distancia de Castello Aragonese, One Tree Island (Isla de Un Árbol) se encuentra en el extremo más meridional del arrecife de la Gran Barrera, a unas cincuenta millas de la costa de Australia. Tiene más de un árbol, lo que me sorprendió cuando llegué con la idea, supongo que de los cómics, de encontrar una sola palmera en medio de la arena blanca. De hecho, ni siquiera había arena. La isla entera está formada por restos de coral que varían en tamaño desde pequeños guijarros hasta enormes piedras. Como los corales vivos de los que en otro tiempo formaron parte, los restos aparecen en docenas de formas. Algunos parecen dedos cortos y gruesos, otros están ramificados, como si fueran candelabros. Aun otros recuerdan cornamentas o platos de comer o trozos de cerebro. Se cree que One Tree Island se creó durante una tempestad especialmente intensa hace unos 4.000 años. (En palabras de un geólogo que la ha estudiado, «no habrías querido estar allí cuando ocurrió».) La isla todavía está cambiando de forma; una tempestad que pasó por allí en marzo de 2009 (el ciclón Hamish) añadió una cresta que discurre a lo largo de la ribera oriental de la isla.

One Tree Island podría calificarse de isla desierta de no ser por una minúscula estación científica de la Universidad de Sídney que allí opera. Viajé hasta la isla, como casi todos

hacen, desde otra, algo más grande, situada a unas doce millas de distancia. (La isla se conoce como Heron Island, es decir, Isla de las Garzas, también con mala pata, porque no hay allí ni una sola de esas aves.) Cuando atracamos, o más bien embarrancamos, pues One Tree no tiene embarcadero, una tortuga boba se estaba arrastrando fuera del agua hasta la orilla. Medía casi 1,20 metros y tenía en el caparazón una gran cicatriz incrustada de bellotas de mar que le daban un aspecto antiguo. Las noticias viajan deprisa en una isla casi desierta, y pronto la población entera de One Tree, yo entre ellos, había salido a mirar. Las tortugas marinas suelen hacer la puesta por la noche y en playas de arena; pero era mediodía y la playa estaba formada por escabrosos restos de coral. La tortuga intentó excavar un agujero con las aletas traseras. Tras un gran esfuerzo, sólo consiguió hacer un hueco superficial, y para entonces ya le sangraban las aletas. Se arrastró como pudo un poco más arriba para intentarlo de nuevo, con resultados parecidos. Todavía estaba en ello una hora y media después, cuando tuve que ir a escuchar una charla sobre seguridad que me brindó el director de la estación científica, Russell Graham. Me advirtió de que evitara nadar con marea saliente o podría verme «arrastrada hasta Fiyi». (Oiría lo mismo muchas veces durante mi estancia, aunque había algún desacuerdo sobre si la corriente se dirigía a Fiyi o iba justo en sentido contrario.) Una vez hube asimilado este y otros consejos (el mordisco del pulpo de anillos azules suele ser mortal; la picadura del pez piedra no, pero duele tanto que desearías que lo fuera), regresé para ver cómo le iba a la tortuga. Al parecer se había rendido y había regresado al mar.



One Tree Island y el arrecife que la rodea, vistos desde el aire. © Gary Bell/OceanwideImages.com.

La Estación Científica de One Tree Island es una estación de mínimos. Consiste en dos laboratorios provisionales, un par de casetas y un retrete exterior de compostaje. La casetas se asientan directamente sobre los restos de coral, la mayoría sin pavimento, de modo que incluso dentro se tiene la impresión de estar fuera. Hay equipos de todo el mundo que reservan espacio en la estación para estancias de unas pocas semanas o unos pocos meses. En algún momento, a alguien se le debió de ocurrir que cada uno de esos equipos debía dejar un recuerdo de su visita en las paredes de la caseta. LLEGANDO AL MEOLLO EN 2004, dice una de las inscripciones, escrita con rotulador mágico. Otras dicen así:

EL EQUIPO DEL CANGREJO: PINZAS POR UNA CAUSA — 2005
SEXO DE CORALES — 2008
EL EQUIPO DE LA FLUORESCENCIA — 2009

El equipo americano-israelí que estaba allí a mi llegada ya había realizado dos viajes a la isla. El epigrama de su primera visita, ECHANDO ÁCIDO A LOS CORALES, venía acompañado del boceto de una jeringa que dejaba caer algo parecido a la sangre sobre un globo terráqueo. El último mensaje del grupo hacía referencia a su lugar de estudio, una mancha de coral conocida como DK-13, que está tan lejos de la estación en el arrecife que, a efectos prácticos, es como si estuviera en la Luna.

La inscripción en la pared decía, DK-13: NADIE PUEDE OÍRTE GRITAR.

* * *

El primer europeo que se tropezó con el Arrecife de la Gran Barrera fue el capitán James Cook. En la primavera de 1770, Cook navegaba por la costa este de Australia cuando su buque, el *Endeavour*, embarrancó en una sección del arrecife situada a unas treinta millas al sureste de lo que hoy es, no por casualidad, Cooktown. Todo lo que no era esencial, incluido el cañón del barco, se tiró por la borda, y el *Endeavour*, haciendo aguas, consiguió arribar a tierra, donde la tripulación pasó los dos meses siguientes reparando el casco. Cook quedó desconcertado por lo que describió como «una pared de roca de coral que se alza a plomo desde los profundidades del océano».[1] Comprendió que el arrecife tenía origen biológico, que se había «formado en el mar por la acción de animales». Pero se preguntaba cómo se podía haber visto «empujado tan arriba».[2]

La pregunta sobre cómo se formaban los arrecifes seguía sin respuesta sesenta años más tarde, cuando Lyell se sentó a escribir sus *Principios*. Aunque nunca había visto un arrecife, Lyell se sentía fascinado por ellos, y dedicó parte del segundo volumen a especular sobre sus orígenes.

La teoría de Lyell, que los arrecifes crecían sobre los márgenes del cráter de un volcán submarino extinto, la había tomado casi enteramente de un naturalista ruso llamado Johann Friedrich von Eschscholtz.[3] (Antes de que el Atolón Bikini recibiera este nombre, se conocía con el nombre mucho menos sugerente de Atolón de Eschscholtz.)

Cuando a Darwin le llegó el turno de teorizar sobre los arrecifes, contó con la ventaja de haber visitado unos cuantos. En noviembre de 1835 el *Beagle* echó el ancla en Tahití. Darwin ascendió hasta uno de los puntos más altos de la isla, y desde allí pudo ver de cerca la isla de Moorea y se percató de que estaba rodeada por un arrecife del mismo modo que un grabado enmarcado está rodeado por un paspartú.

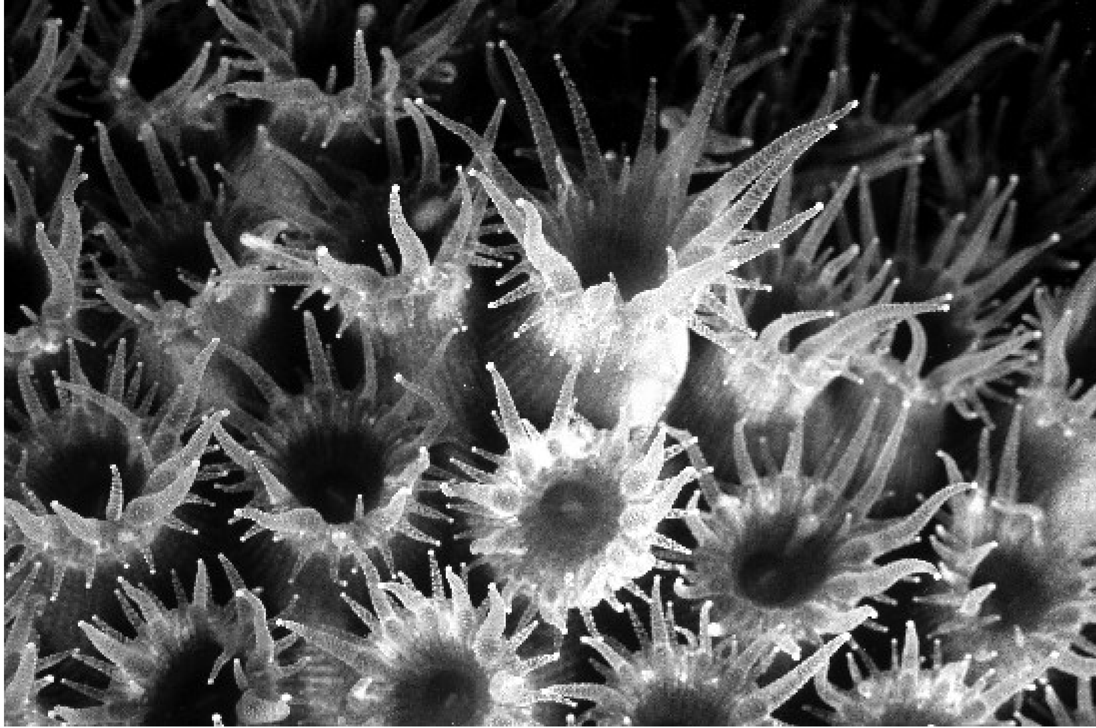
«Me alegro de haber visitado estas islas», escribió Darwin en su diario, pues los arrecifes de coral «se cuentan entre los objetos más maravillosos del mundo». Mientras miraba la isla de Moorea y lo que la rodeaba, imaginó el curso del tiempo en el futuro; si la isla se fuera hundiendo, el arrecife de Moorea se convertiría en un atolón. Cuando Darwin regresó a Londres y compartió con Lyell su teoría, éste, aunque impresionado, previó reticencias. «No presumas de que vayan a creerte antes de que estés calvo como yo», le advirtió.

De hecho, el debate sobre la teoría de Darwin, que fue el tema de su obra de 1842, *La estructura y distribución de los arrecifes de coral*, se prolongó hasta la década de 1950, cuando la armada de Estados Unidos llegó a las islas Marshall con la intención de vaporizar unos cuantos islotes. Durante los trabajos de preparación de las pruebas de la bomba de hidrógeno, la armada realizó una serie de perforaciones en un atolón llamado Enewetak. Tal como

explica uno de los biógrafos de Darwin, estas perforaciones demostraron que su teoría, al menos en sus términos más generales, era «asombrosamente correcta».[4]

La descripción que hace Darwin de los arrecifes de coral «entre los objetos más maravillosos del mundo» también se sostiene. De hecho, cuanto más sabemos sobre los arrecifes, más maravillosos nos parecen. Los arrecifes son paradojas orgánicas, unos obstinados muros que destrozan los barcos pero fueron alzados por unos diminutos organismos gelatinosos. Son en parte animal, en parte vegetal y en parte mineral, a un tiempo llenos de vida y, sin embargo, en su mayoría muertos.

Como los erizos de mar, las estrellas de mar, las almejas, las ostras y las bellotas de mar, los corales que forman arrecifes dominan la alquimia de la calcificación. Lo que los hace destacar sobre otros calcificadores es que, en lugar de trabajar individualmente para producir, pongamos por caso, una concha o unas cuantas placas calcíticas, los corales se embarcan en ingentes proyectos comunales de construcción que se extienden sobre muchas generaciones. Cada uno de los individuos, conocidos con el humilde nombre de pólipos, contribuye a la edificación del exoesqueleto colectivo de su colonia. En un arrecife, miles de millones de pólipos que pertenecen a un centenar de especies distintas se dedican en cuerpo y alma a esta misma tarea fundamental. Con el tiempo suficiente (y las condiciones adecuadas), el resultado es otra paradoja: una estructura viva. El Arrecife de la Gran Barrera se extiende de forma discontinua a lo largo de más de 2.500 kilómetros, en algunos lugares con un grosor de hasta 150 metros. Comparadas con los arrecifes, las pirámides de Giza parecen piezas de un juguete de construcción.



Pólipos de coral. Nancy Sefton/Science Source.

La manera en que los corales modifican el mundo con sus ingentes proyectos de construcción que se prolongan durante generaciones podría compararse con la forma en que los humanos lo hacemos, pero hay una diferencia crucial. En lugar de desplazar a otros organismos, los corales los sostienen. Miles, quizá millones de especies, han evolucionado dependiendo de los arrecifes de coral, bien directamente como protección o fuente de alimento, bien indirectamente porque depredan sobre especies que buscan en ellos protección o alimento. Esta empresa coevolutiva se ha desarrollado durante muchas épocas geológicas. Pero los investigadores creen ahora que no superarán el Antropoceno. «Es probable que los arrecifes sean el primero de los grandes ecosistemas de la era moderna que se extinga ecológicamente», así lo expresaba hace poco un trío de investigadores británicos.[5] Algunos les dan a los arrecifes hasta finales del siglo actual, otros

incluso menos tiempo. Un artículo publicado en *Nature* por el antiguo director de la Estación de Investigación de One Tree Island, Ove Hoegh-Guldberg, predijo que si las tendencias actuales se mantenían, hacia el año 2050 los visitantes de la Gran Barrera no llegarían a ver más que «bancales de arrecife muerto en rápido proceso de erosión».[6]

* * *

Llegué a One Tree más o menos por accidente. Mi plan original era quedarme en la isla Heron, donde hay una estación de investigación mucho más grande y también un elegante centro vacacional. En Heron, mi intención era presenciar el episodio anual de desove de los corales y observar lo que me habían descrito en varias conversaciones por Skype como un experimento pionero sobre la acidificación del océano. Unos investigadores de la Universidad de Queensland estaban construyendo un complejo mesocosmos de plexiglás que les permitiría manipular los niveles de $CO_2$ en una mancha concreta de coral al tiempo que permitiría que los distintos organismos que dependen del arrecife entraran y salieran de la mancha. Cambiando el pH del interior del mesocosmos y midiendo lo que les pasaba a los corales pretendían generar predicciones sobre el conjunto del arrecife. Llegué a Heron a tiempo para ver el desove (más sobre esto enseguida), pero el experimento se encontraba muy retrasado y el mesocosmos no estaba ni siquiera armado. En lugar del arrecife del futuro, todo lo que pude ver fue un montón de ansiosos estudiantes de doctorado encorvados sobre unos hierros que soldaban en el laboratorio.

Mientras intentaba decidir qué hacer a continuación, oí hablar de otro experimento sobre corales y acidificación del océano que ya estaba en marcha en One Tree, lo que, a la escala de la Gran Barrera, era al lado mismo. Tres días más tarde (no hay transporte regular hacia One Tree), conseguí que una embarcación me acercara hasta allí.

El director del equipo de One Tree era un científico atmosférico llamado Ken Caldeira. A Caldeira, que tiene su base en Stanford, se le suele atribuir el término «acidificación del océano». Comenzó a interesarse en este tema a finales de los años noventa, cuando fue contratado para realizar un proyecto para el Departamento de Energía del gobierno de Estados Unidos. Este departamento deseaba conocer las consecuencias de capturar dióxido de carbono de las chimeneas industriales e inyectarlo directamente en las profundidades del océano. Por aquel entonces casi no se había hecho ningún trabajo de modelado de los efectos de las emisiones de carbono en los océanos. Caldeira se dispuso a calcular cómo cambiaría el pH del océano a consecuencia de las inyecciones en profundidad, y luego comparar sus resultados con la práctica actual de bombear el $CO_2$ a la atmósfera y permitir que sea absorbido por las aguas superficiales. En 2003, envió sus resultados a *Nature*. Los editores de la revista le recomendaron eliminar la discusión sobre la inyección en el océano profundo porque sólo los cálculos sobre los efectos de la práctica habitual de liberar a la atmósfera ya eran del todo sorprendentes. Caldeira publicó la primera parte de su artículo con un subtítulo que decía «Los próximos siglos podrían ver más acidificación del océano que los últimos 300 millones de años.»[7]

«Si seguimos con las tendencias actuales, las perspectivas para mediados de siglo son bastante sombrías», me dijo a las pocas horas de mi llegada a One

Tree. Estábamos sentados junto a una desastrada mesa de picnic con vistas al desgarrador azul del mar de Coral. Al fondo se oían los chillidos de la numerosa y garrula población de charranes de la isla. Caldeira hizo una pausa. «En realidad, ya me parecen sombrías hoy en día.»

Caldeira, con cincuenta y tantos años, tiene el cabello castaño rizado, la sonrisa juvenil y una voz que tiende a alzarse al final de las frases, por lo que siempre parece que esté haciendo una pregunta, aunque no sea así. Antes de dedicarse a la investigación, trabajó en Wall Street desarrollando programas informáticos. Uno de sus clientes era la bolsa de Nueva York (NYSE), para la que diseñó un programa para detectar el uso de información privilegiada. El programa funcionaba tal como se esperaba pero, al cabo de un tiempo, Caldeira llegó a la conclusión de que el NYSE no estaba realmente interesado en pillar a los que se beneficiaban de información privilegiada, y decidió cambiar de profesión.

A diferencia de la mayoría de los científicos atmosféricos, que se centran en un aspecto particular del sistema, Caldeira trabaja en todo momento en cuatro o cinco proyectos muy diversos. Le gustan de manera especial los cálculos de naturaleza provocadora o sorprendente; por ejemplo, en una ocasión calculó que la tala de todos los bosques del mundo para reemplazarlos con ecosistemas herbáceos tendría un ligero efecto de enfriamiento. (Las formaciones herbáceas, que tienen un color más claro que los bosques, absorben menos radiación solar.) Otros de sus cálculos pusieron de manifiesto que para afrontar el actual ritmo de cambio de las temperaturas, las plantas y los animales tendrían que migrar hacia los polos casi diez metros al día, y que,

durante su tiempo de permanencia en la atmósfera, una molécula de $CO_2$ generada por la quema de combustibles fósiles captura unas 100.000 veces más calor que el liberado durante su producción.

En One Tree, la vida para Caldeira y su equipo se desarrollaba en torno a las mareas. Una hora antes de la primera bajamar del día, y de nuevo una hora después, uno de ellos tenía que tomar muestras de agua en DK-13, así llamado porque el investigador australiano que estableció el lugar de investigación, Donald Kinsey, había usado sus iniciales para denominarlo. Un poco más de doce horas más tarde se repetía el proceso, y así de una bajamar a la siguiente. El experimento era de baja tecnología más que de alta tecnología; la idea era medir diversas propiedades del agua que Kinsey ya había medido en la década de 1970, comparar los dos conjuntos de datos e intentar averiguar cómo habían cambiado las tasas de calcificación durante las décadas que los separaban. A la luz del día, el viaje a DK-13 podía realizarlo una sola persona. En la oscuridad, por deferencia al hecho de que «nadie puede oírte gritar», la regla era que tenían que ir dos personas.

Mi primera noche en One Tree, la bajamar fue a las 20:53 h. Caldeira iba a hacer el viaje posterior a la bajamar, y me ofrecía a acompañarle. Hacia las 21 h cogimos media docena de botellas de muestreo, un par de linternas y una unidad de mano de GPS, y partimos.

Desde la estación de investigación, había que caminar poco más de kilómetro y medio hasta DK-13. La ruta, que alguien había grabado en el GPS, nos llevaba alrededor del extremo sur de la isla por encima de una amplia y lisa superficie de restos de arrecife que había recibido el sobrenombre de «autopista algal». Desde allí se dirigía hacia el propio arrecife.

Como a los corales les gusta la luz pero sobreviven a una larga exposición al aire, tienden a crecer hacia arriba hasta el nivel de la bajamar, y luego se extienden lateralmente. Esto da lugar a una superficie de arrecife que es más o menos plana, como una serie de mesas que pueden cruzarse del mismo modo que los niños, al acabar el colegio, pueden saltar de pupitre en pupitre. La superficie de arrecife plano de One Tree era parda y quebradiza, y en la estación era conocida como «corteza de pastel». Bajo el peso de los pies, se rompía con ominosos chasquidos. Caldeira me advirtió de que si caía entre los corales, sería malo para el arrecife y aun peor para mis espinillas. Recordé otro de los mensajes que había visto escritos en la pared de la estación de investigación: NO TE FÍES DE LA CORTEZA DE PASTEL.

La noche era cálida y, aparte de los haces de nuestras linternas, negra como el carbón. Incluso en la oscuridad, la extraordinaria vitalidad del arrecife era evidente. Pasamos junto a varias tortugas careta que esperaban a la bajamar con una expresión que parecía de aburrimiento. Vimos estrellas de mar de un vivo color azul, tiburones leopardo varados en cubetas someras y pulpos rojizos que intentaban por todos los medios mezclarse con el arrecife. Cada pocos pasos teníamos que pasar por encima de una almeja gigante, que parecía dirigirnos miradas lascivas con rollizos labios pintados. (El manto de las almejas gigantes está repleto de coloridas algas simbióticas.) Las franjas arenosas entre los bloques de coral están llenos de pepinos de mar, que pese a su nombre son animales cuyos parientes más cercanos son los erizos de mar. En el Arrecife de la Gran Barrera tienen más el tamaño de cojines cilíndricos que de pepinos. Por curiosidad, decidí coger uno. Medía unos 60 centímetros y era de color negro como la tinta. Al tacto parecía terciopelo cubierto de gelatina.

Tras unos cuantos giros erróneos y varios retrasos causados por los intentos de Caldeira de fotografiar los pulpos con una cámara subacuática, llegamos a DK-13. El sitio no era más que una boya amarilla y unos cuantos equipos de medición asegurados al arrecife con unas cuerdas. Miré atrás en lo creía que era la dirección de la isla, pero no se podía ver ninguna isla, ni tierra de ningún tipo. Enjuagamos las botellas de muestreo, las llenamos y comenzamos a caminar de vuelta. La oscuridad era todavía más completa. Las estrellas brillaban tanto que parecían saltar del firmamento. Por un breve instante me pareció entender cómo debía de haberse sentido un explorador como Cook al llegar a un lugar como aquél, en los márgenes del mundo conocido.

Los arrecifes de coral crecen en una gran franja que abraza como un cinturón el vientre de la Tierra, entre las latitudes de treinta grados norte y treinta grados sur. Después de la Gran Barrera, el segundo mayor arrecife del mundo es el de la costa de Belize. Hay grandes arrecifes de coral en el Pacífico tropical, en el océano Índico y en el mar Rojo, y muchos otros más pequeños en el Caribe. Pero, curiosamente, los primeros indicios de que el $CO_2$ podía matar un arrecife vino de Arizona, de un mundo cerrado y supuestamente autosuficiente conocido como Biosphere 2.

Esta estructura acristalada de poco más de una hectárea de superficie con forma de zigurat fue construida a finales de los años ochenta por un grupo privado financiado en buena parte por el multimillonario Edward Bass. Su propósito era demostrar de qué modo se podría recrear la vida en la Tierra (Biosphere 1), por ejemplo en Marte. La edificación contenía un «bosque lluvioso», un «desierto», una «zona agrícola» y un «océano» artificial. El

primer grupo de biosferianos, cuatro hombres y cuatro mujeres, permanecieron cerrados en su interior durante dos años. Cultivaron sus propios alimentos y, durante un tiempo, respiraron exclusivamente aire reciclado. Con todo, el proyecto fue mayoritariamente considerado un fracaso. Los biosferianos pasaron hambre durante casi toda su estancia y, lo que es aún peor, no lograron controlar su atmósfera artificial. En los distintos «ecosistemas», se suponía que la descomposición, que absorbe oxígeno y libera dióxido de carbono, debía estar en equilibrio con la fotosíntesis, que hace lo contrario. Por razones que tienen que ver sobre todo con la composición del suelo que se había llevado a la «zona agrícola», la descomposición fue mayor. Los niveles de oxígeno en el interior del edificio cayeron abruptamente, y los biosferianos desarrollaron algo parecido al mal de altura. Entre tanto, los niveles de dióxido de carbono se dispararon. Al final, alcanzaron 3.000 partes por millón, unas ocho veces más que los niveles del exterior.

Biosphere 2 se colapsó oficialmente en 1995, y la Universidad de Columbia se encargó entonces de gestionar el edificio. El «océano», un tanque del tamaño de una piscina de natación olímpica, era para entonces una ruina: la mayor parte de los peces que se habían introducido habían muerto, y los corales aguantaban a duras penas. Un biólogo marino llamado Chris Langdon recibió el encargo de elaborar algún proyecto educativo que pudiera llevarse a cabo en el tanque. Su primer paso consistió en ajustar la química del agua. Como era de esperar dado el elevado contenido de $CO_2$ del agua, el pH del «océano» era bajo. Langdon intentó arreglarlo, pero no dejaban de ocurrir cosas extrañas. Averiguar por qué se convirtió en una

especie de obsesión. Al cabo de un tiempo, Langdon vendió su casa en Nueva York y se mudó a Arizona para así poder experimentar con el «océano» a tiempo completo.

Aunque los efectos de la acidificación suelen expresarse en términos de pH, hay otra manera de examinar lo que pasa que es también importante, y para muchos organismos probablemente más importante, que es en términos de una propiedad del agua del mar que se conoce, de forma un tanto complicada, como «estado de saturación con respecto al carbonato de calcio», o, de manera alternativa, como «estado de saturación con respecto a la aragonita». (El carbonato de calcio se presenta en dos formas distintas que varían en la estructura cristalina; la aragonita, que es la forma que fabrican los corales, es la variedad más soluble.) El estado de saturación está determinado por una complicada fórmula química, pero en esencia es una medida de la concentración de iones de calcio y de carbonato que andan sueltos por ahí. Cuando el $CO_2$ se disuelve en el agua, forma ácido carbónico ($H_2CO_3$), que a efectos prácticos «come» iones carbonato, reduciendo así el estado de saturación.

Cuando Langdon llegó a Biosphere 2, la opinión predominante entre los biólogos marinos era que a los corales no les importaba demasiado el estado de saturación en tanto se mantuviera por encima de uno. (Por debajo de uno, el agua está «subsaturada», y el carbonato de calcio se disuelve.) En función de lo que veía, Langdon llegó a convencerse de que a los corales *sí* que les importaba el estado de saturación; de hecho, les importaba muchísimo. Para poner a prueba su hipótesis, Langdon empleó un procedimiento simple aunque lento. Se trataba de modificar el estado del «océano», y periódicamente sacar del agua unas pequeñas colonias de coral adheridas a pequeñas losetas, para pesarlas. Si la colonia añadía peso, debía estar

creciendo, es decir, añadiendo más masa por medio de la calcificación. El experimento tardó más de tres años en completarse, con más de un millar de mediciones. Lo que reveló fue una relación más o menos lineal entre la tasa de crecimiento de los corales y el estado de saturación del agua. Los corales crecían más rápido a un estado de saturación de la aragonita de cinco, más despacio a cuatro y aun más despacio a tres. Al nivel de dos, básicamente dejaban de crecer, como unos constructores frustrados que tiran la toalla. En el mundo artificial de Biosphere 2, las implicaciones de este descubrimiento eran interesantes. En el mundo real, en Biosphere 1, eran bastante más preocupantes.

Antes de la revolución industrial, todos los grandes arrecifes del mundo se encontraban en mares con un estado de saturación de aragonita entre cuatro y cinco. En la actualidad, no hay prácticamente ningún lugar en el planeta donde el estado de saturación esté por encima de cuatro, y si se mantienen las actuales tendencias de emisión, hacia 2060 ya no quedarán regiones por encima de 3,5. Hacia 2100, ya no quedará ninguna por encima de tres. A medida que caiga el estado de saturación, la energía necesaria para la calcificación irá en aumento, y las tasas de calcificación se reducirán. Con el tiempo, los niveles de saturación podrían caer tanto que los corales dejen de calcificar, pero antes de llegar a ese extremo tendrán graves problemas. Eso se debe a que, en el mundo real, los arrecifes van siendo «comidos» por peces, erizos de mar y gusanos perforadores. Además, son golpeados por el oleaje y las tempestades, como la que creó One Tree. Por eso, sólo para quedarse como están, los arrecifes siempre tienen que crecer.

«Es como un árbol con orugas», me explicaba Langdon. «Tiene que crecer bastante rápido sólo para quedarse como está.»

Langdon publicó sus resultados en 2000. Para entonces muchos biólogos marinos era escépticos, en buena parte, al parecer, por su asociación con el desacreditado proyecto Biosphere. Langdon dedicó dos años más a repetir sus experimentos, pero esta vez con controles todavía más estrictos. Sus conclusiones fueron las mismas. Entre tanto, otros investigadores iniciaron sus propios estudios. También éstos confirmaron el descubrimiento de Langdon: los corales que construyen arrecifes son sensibles al estado de saturación, algo que actualmente ya se ha demostrado en docenas de estudios de laboratorio y en un arrecife real. Hace unos años, Langdon y algunos de sus colaboradores llevaron a cabo un experimento en una sección de un arrecife cerca de un sistema de emanaciones volcánicas frente a la costa de Papua Nueva Guinea. El experimento, inspirado en el trabajo de Hall-Spencer en Castello Aragonese, utilizó también las emisiones volcánicas como fuente natural de acidificación.[8] A medida que el estado de saturación del agua descendía, la diversidad de corales se desplomaba. Las algas coralinas actúan como una suerte de adhesivo de arrecifes, cementando la estructura. Las praderas marinas, en cambio, prosperaban.

«Hace unas décadas hasta a mí me habría parecido ridícula la idea de que los arrecifes tuvieran fecha de caducidad», ha escrito J. E. N. Veron, antiguo científico jefe de Instituto Australiano de Ciencia Marina.[9] «Hoy, sin embargo, habiendo pasado los años más productivos de mi carrera científica alrededor de las mayores maravillas del mundo submarino, estoy convencido de que no seguirán ahí para que puedan disfrutarlos los hijos de mis hijos.» Un estudio reciente realizado por un equipo de investigadores

australianos halló que la cobertura de corales del Arrecife de la Gran Barrera se ha reducido a la mitad en los últimos treinta años.[10]

Poco después de su viaje a One Tree, Caldeira y algunos de los miembros de su equipo publicaron un artículo en el que evaluaban el futuro de los corales con la ayuda de modelos de simulación y datos recogidos en el campo. El artículo concluía que, si las tendencias actuales de emisión se mantenían, en el plazo de cincuenta años o menos «todos los arrecifes de coral dejarán de crecer y comenzarán a disolverse».[11]

Entre salidas al arrecife a recoger muestras, los científicos de One Tree dedicaban mucho tiempo a bucear en la superficie. El lugar preferido del grupo estaba a una media milla de la costa, en el punto opuesto de la isla respecto a DK-13, y para llegar allí había que persuadir a Graham, el encargado de la estación, para que sacara la barca, algo que hacía de mala gana y con una buena dosis de quejas.

Algunos de los científicos, que habían buceado en muchos lugares (Filipinas, Indonesia, el Caribe y el Pacífico sur), me dijeron que bucear en One Tree era de lo mejor. No me costó creerles. La primera vez que salté de la embarcación y vi el torbellino de vida bajo el agua, me pareció irreal, como si estuviera nadando en el mundo submarino de Jacques Cousteau. Los bancos de peces pequeños eran seguidos por bancos de peces mayores, a los que seguían tiburones. Grandes rayas se deslizaban seguidas de tortugas del tamaño de bañeras. Intenté hacer una lista mental de lo que había visto, pero era como intentar catalogar un sueño. Después de cada salida, pasé horas hojeando una voluminosa obra titulada *The Fishes of the Great Barrier Reef and the Coral Sea* (*Los peces del*

*Arrecife de la Gran Barrera y del mar del Coral*). Entre los peces que creo haber visto están: tiburón tigre, tiburón limón, tiburón gris, pez unicornio de nariz corta, pez cofre amarillo, pez cofre moteado, pez ángel conspicuo, pez payaso de la Gran Barrera, castañuela de la Gran Barrera, pez loro de aleta alta, pez loro del Pacífico, pargo trovador, arenque banda azul, rabil, lampuga, blénido falaz, cirujano amarillo, pez conejo enrejado, pez verde de cabeza roma y limpiador de banda azul.

A menudo se compara a los arrecifes con las selvas tropicales, y en términos de la extraordinaria variedad de la vida, la comparación es adecuada. Para cualquier grupo que se escoja, las cifras son vertiginosas. En una ocasión un investigador australiano desmenuzó un trozo de coral del tamaño de una pelota de voleibol y encontró, viviendo en su interior, más de 1.400 gusanos poliquetos de 103 especies distintas. Más recientemente, unos investigadores americanos abrieron trozos de coral en busca de crustáceos; en el equivalente de un metro cuadrado recolectado cerca de la isla Heron encontraron representantes de más de un centenar de especies, y en una muestra de tamaño parecido recogida en el extremo norte de la Gran Barrera, hallaron representantes de más de 120.[12] Se estima que al menos medio millón de especies, posiblemente hasta nueve millones, pasan al menos una parte de su vida en arrecifes de coral.

Esta diversidad es aún más sorprendente a la luz de las condiciones subyacentes. Las aguas tropicales tienden a ser pobres en nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, que son cruciales para la mayoría de las formas de vida. (Esto tiene que ver con lo que se conoce como estructura térmica de la columna de agua, y es la razón de que las aguas tropicales suelan tener esa hermosa transparencia.) En consecuencia, los mares de los trópicos deberían ser

yermos, el equivalente acuático de los desiertos. Así que los arrecifes no son simplemente selvas submarinas; son selvas en un Sahara marino. La primera persona que se mostró perpleja ante esta incongruencia fue Darwin, y desde entonces se conoce como «paradoja de Darwin». La paradoja de Darwin nunca se ha resuelto del todo, pero una de las claves del rompecabezas parece ser el reciclaje. Los arrecifes (o, en realidad, los organismos de los arrecifes) han desarrollado un sistema fantásticamente eficiente para transferir nutrientes de un tipo de organismos a otro, como en un gigantesco bazar. Los corales son los principales protagonistas de este complejo sistema de intercambio, y, al mismo tiempo, proporcionan la plataforma que hace posible el cambalache. Sin ellos, no queda más que un desierto de agua.

«Los corales construyen la arquitectura del ecosistema», me decía Caldeira. «Así que está bastante claro que si desaparecen, desaparece el ecosistema entero.»

Uno de los científicos israelíes, Jack Silverman, me lo dijo de este modo: «Cuando no queda edificio, ¿adónde van los inquilinos?».

Los arrecifes han ido y venido varias veces en el pasado, y sus restos aparecen en todo tipo de lugares inverosímiles. Las ruinas de los arrecifes del Triásico, por ejemplo, pueden encontrarse hoy a miles de metros sobre el nivel del mar en los Alpes austriacos. Las montañas de Guadalupe, en el oeste de Texas, son lo que queda de unos arrecifes del periodo Pérmico que fueron levantados durante un episodio de «compresión tectónica» hace unos ochenta millones de años. Los arrecifes del periodo Silúrico se pueden ver en el norte de Groenlandia.

Todos estos antiguos arrecifes son calizas, pero los organismos que los crearon eran bastante distintos. Entre los organismos que construyeron arrecifes en el Cretácico se encuentran unos enormes bivalvos conocidos con el nombre de rudistas. En el Silúrico, los constructores de arrecifes incluían unos organismos con aspecto de esponja llamados estromatoporoides. En el Devónico, construían arrecifes corales rugosos, que crecían en forma de cuerno, y corales tabulados, que crecían en forma de colmena. Tanto los corales rugosos como los tabulados mantenían un parentesco lejano con los actuales corales escleractinios, y aquellos dos órdenes se extinguieron a finales del Pérmico. Esta extinción se manifiesta en el registro geológico con (entre otras cosas) una «brecha» de arrecifes, un periodo de unos diez millones de años durante los cuales los arrecifes desaparecieron completamente. También hubo brechas de arrecifes tras las extinciones del Devónico tardío y del Triásico tardío, y en cada uno de estos casos hicieron falta millones de años antes de que se iniciara de nuevo la construcción de arrecifes. Esta correlación ha llevado a algunos científicos a argumentar que la construcción de arrecifes debe ser especialmente vulnerable a los cambios ambientales, una nueva paradoja, puesto que la construcción de arrecifes es una de las empresas más antiguas de la Tierra.

La acidificación del océano no es, obviamente, la única amenaza a la que están sometidos los arrecifes. De hecho, en algunas partes del mundo, es probable que los arrecifes no duren lo bastante para que la acidificación los remate. La lista de amenazas incluye, aunque no se limite sólo a éstas, la sobrepesca, que promueve el crecimiento de algas que compiten con corales; la escorrentía agrícola, que también fomenta el crecimiento de algas; la deforestación, que conduce a la deposición de sedimentos y reduce la

claridad del agua; y la pesca con dinamita, cuyo potencial destructor no precisa aclaración. Todas estas presiones hacen que los corales sean más susceptibles a los patógenos. La enfermedad de la banda blanca es una infección bacteriana que, como su nombre sugiere, produce una banda blanca de tejido necrótico. Afecta a dos especies de coral del Caribe, *Acropora palmata* (coral cuerno de alce) y *Acropora cervicornis* (coral cuerno de ciervo), que hasta hace poco eran los principales constructores de arrecifes en la región. La enfermedad ha diezmado las especies hasta tal punto que hoy están calificadas como «en peligro crítico de extinción» por la Comisión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Entre tanto, la cobertura de coral en el Caribe ha disminuido en casi un 80% en décadas recientes.

El último y tal vez más importante elemento de la lista es el cambio climático, una amenaza a la par de la acidificación del océano.

Los arrecifes tropicales necesitan calor, pero cuando la temperatura del agua asciende demasiado tienen problemas. Las razones de ello tienen que ver con el hecho de que los corales que construyen arrecifes llevan una doble vida. Cada pólipo individual es un animal y, al mismo tiempo, alberga unas plantas microscópicas llamadas zooxantelas. Las zooxantelas producen carbohidratos por medio de la fotosíntesis, que los pólipos cosechan igual que los agricultores cosechan el maíz. Pero, cuando las temperaturas ascienden por encima de cierto umbral (que varía dependiendo del lugar y de la especie), la relación simbiótica entre los corales y sus inquilinos se rompe. Las zooxantelas comienzan a producir concentraciones peligrosas de radicales de oxígeno, y los pólipos responden, a la desesperada y a menudo en contra de sus propios intereses, expulsándolas. Sin las zooxantelas, que son la

fuente de sus fantásticos colores, los corales se tornan blanquecinos, un fenómeno que se conoce como «blanqueo del coral». Las colonias blanqueadas dejan de crecer y, si los daños son lo bastante extensos, mueren. En los años 1998, 2005 y 2010 se produjeron episodios graves de blanqueo, y se espera que la frecuencia e intensidad de estos episodios no haga más que aumentar a medida que asciendan las temperaturas globales. Un estudio de más de ochocientas especies constructoras de corales publicado en *Science* en 2008 halló que una tercera parte de ellas se encontraban en peligro de extinción, sobre todo a causa del aumento de las temperaturas del agua. Esto ha hecho de los corales duros uno de los grupos sometidos a un mayor peligro de extinción de todo el planeta: la proporción de especies de coral calificadas como «amenazadas», según observaba el estudio, supera «la de la mayoría de los grupos de animales terrestres aparte de los anfibios».[13]

Las islas son mundos en miniatura o, como decía el escritor David Quammen, «casi una caricatura de toda la complejidad de la naturaleza». Visto así, One Tree sería una caricatura de una caricatura. El lugar no llega a 250 metros de largo por 125 de ancho, pero cientos de científicos han trabajado en ella atraídos, en muchos casos, por su propia pequeñez. En la década de 1970, un trío de científicos australianos se dispusieron a producir un censo biológico completo de la isla. Pasaron la mayor parte de tres años viviendo en tiendas y catalogando todas las especies de plantas y animales que pudieran encontrar, entre ellas: árboles (3 especies), gramíneas (4 especies), aves (29 especies), moscas (90 especies) y ácaros (102 especies). En la isla no hallaron ningún mamífero residente, salvo que se contase a los propios científicos o un cerdo que alguien

trajo en una ocasión y se mantuvo enjaulado hasta que acabó en una barbacoa. La monografía a la que dio lugar esta investigación ocupaba unas cuatrocientas páginas. Se iniciaba con un poema que atestiguaba los encantos de aquel minúsculo cayo:

> Una isla dormita
> prendida por una titilante diadema
> de aguas azul y turquesa.
> Guarda a su joya de las olas que rompen
> en su margen de coral.[14]

En mi último día en One Tree no había planificada ninguna salida para bucear, así que decidí caminar por la isla, un ejercicio que no debería haberme llevado más de quince minutos. Al poco de comenzar mi paseo me encontré con Graham, el encargado de la estación. Aquel hombre enjuto, de ojos azules, cabello del color del jengibre y mostacho de morsa se me antojó entonces que habría sido un excelente pirata. Nos pusimos a caminar juntos y a charlar, y mientras lo hacíamos Graham no dejaba de recoger trozos de plástico que las olas habían traído a One Tree: el tapón de una botella; un fragmento de algún aislante, probablemente de la puerta de un barco; un tramo de tubo de PVC. Tenía toda una colección de aquellos trozos que el mar había traído, y la exhibía en un cajón de alambre; el propósito de aquella exposición, según me dijo, era demostrar a los visitantes «lo que nuestra raza está haciendo».

Graham se ofreció a mostrarme cómo funcionaba realmente la estación de investigación, de modo que sorteamos las casetas y laboratorios hasta llegar a la sección media de la isla. Era la época reproductora, y fuéramos donde fuéramos encontrábamos aves pavoneándose: charranes embridados, de dorso negro y pecho blanco; charranes bengalíes, grises con el rostro blanco y negro; y tiñosas menudas, con una mancha blanca

en la cabeza. Pude comprender por qué a los humanos nos había resultado tan fácil matar a las aves marinas cuando nidifican; los charranes no parecían sentir ningún miedo, y se metían entre los pies con tal facilidad que había que andar con cuidado para no pisarlos.

Graham me llevó a ver los paneles fotovoltaicos que proporcionaban electricidad a la estación, y los tanques para recoger el agua de lluvia. Éstos estaban montados sobre una plataforma desde la cual podíamos ver por encima de las copas de los árboles de la isla. Según mis cálculos, muy aproximados, había unos quinientos, y parecían crecer directamente de los cascotes de coral como astas de bandera. Justo al lado de la plataforma, Graham me señaló un charrán embridado que picoteaba un pollo de tiñosa. Al poco tiempo, el pollo había muerto. «No se lo comerá», predijo, y así fue. El charrán embridado se alejó del pollo, que enseguida fue consumido por una gaviota. Graham se tomó con filosofía aquel episodio que sin duda había presenciado otras veces: impediría que la población de aves de la isla acabara con todos los recursos.

Aquella noche era la primera del Janucá. Para la celebración, alguien había fabricado una menorá con la rama de un árbol y le había pegado dos velas con cinta adhesiva. Una vez encendida en la playa, aquella improvisada menorá proyectaba sombras que se deslizaban sobre el ripio de coral. La cena de aquella noche consistía en carne de canguro, que me sorprendió por su sabor, pero que, como se apresuraron a señalar los israelíes, claramente no era kosher.

Más tarde partí hacia DK-13 con un posdoctorando llamado Kenny Schneider. Para entonces, las mareas se habían desplazado unas dos horas, de manera que Schneider y yo debíamos llegar al sitio de muestreo unos pocos minutos antes de la medianoche. Schneider ya había

hecho la ruta antes, pero todavía no dominaba el funcionamiento de la unidad de GPS. Más o menos a medio camino nos dimos cuenta de que nos habíamos desviado de la ruta prescrita. Pronto el agua nos llegaba a la altura del pecho, por lo que caminar resultaba más trabajoso y más lento, y la marea comenzaba a entrar. Por la mente me cruzaron diversos pensamientos fruto de la ansiedad. ¿Conseguiríamos nadar de vuelta a la estación? ¿Podríamos siquiera acertar con la dirección correcta en la que deberíamos nadar? ¿Acabaríamos de dirimir la polémica sobre Fiyi?

Mucho más tarde de lo que deberíamos, Schneider y yo divisamos la boya amarilla de DK-13. Llenamos las botellas de muestreo e iniciamos el regreso. Una vez más, me dejé sorprender por las extraordinarias estrellas y el horizonte sin luces. También sentí, como ya había sentido otras veces en One Tree, la incongruencia de mi posición. La razón de mi viaje al Arrecife de la Gran Barrera era escribir sobre la escala de la influencia humana. Sin embargo, Schneider y yo parecíamos muy muy pequeños en aquella oscuridad absoluta.

Como los judíos, los corales de la Gran Barrera siguen un calendario lunar. Una vez al año, después de un plenilunio al comienzo del verano austral, se vuelcan en lo que se conoce como desove en masa: una suerte de sexo en grupo sincronizado. Me habían dicho que el desove era todo un espectáculo y no debía perdérmelo, así que había planificado mi viaje a Australia para poder verlo.

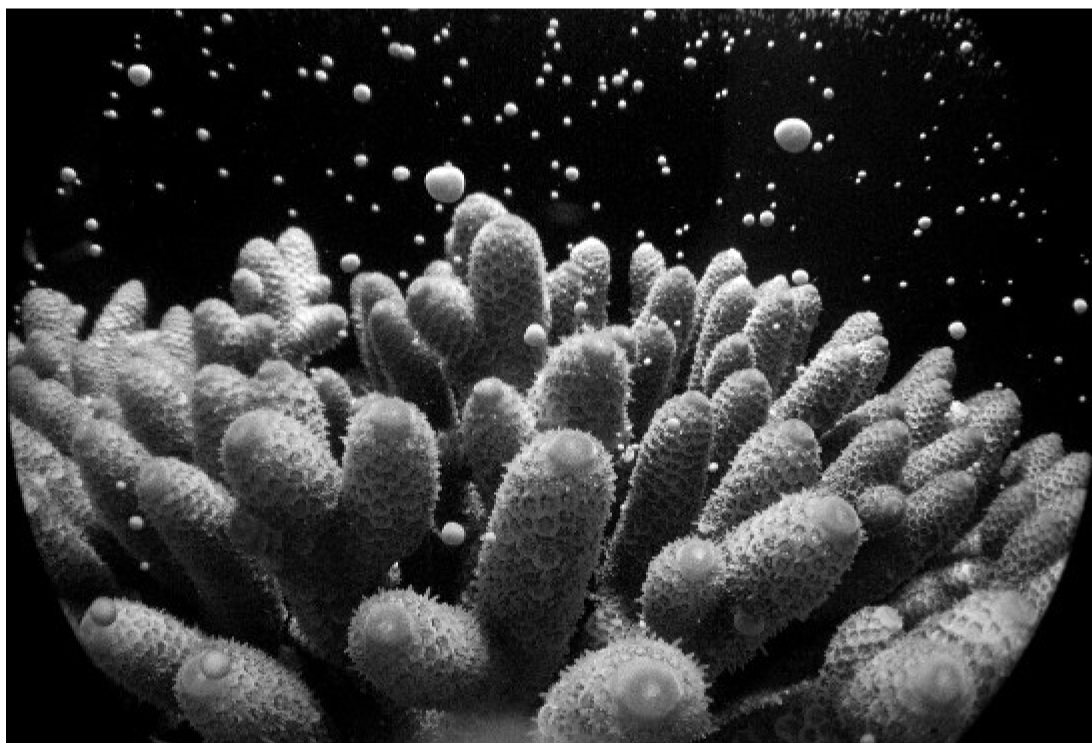
Por lo general, los corales son de lo más casto: se reproducen asexualmente, por «gemación». El desove anual es, por tanto, una rara oportunidad, desde un punto de vista genético, para mezclarse. La mayoría de los corales

que desovan son hermafroditas, lo que significa que un mismo pólipo produce tanto huevos como espermatozoos, todos envueltos en unos pequeños y prácticos botones. Nadie sabe con certeza cómo sincronizan el desove los corales, pero se cree que responden tanto a la luz como a la temperatura.

Antes de la gran noche (el desove en masa siempre se produce después de la puesta del sol), los corales comienzan a «prepararse», algo así como la versión escleratínica de las labores del parto. Los botones de huevos y espermatozoos empiezan a sobresalir de los pólipos, y la colonia entera parece tener carne de gallina. De vuelta a la isla Heron, algunos investigadores australianos había construido un complejo criadero en el que poder estudiar el evento. Habían recogido colonias de las especies más comunes del arrecife, entre ellas *Acropora millepora*, que, como me dijo uno de los científicos, es como la «rata de laboratorio» del mundo de los corales, y las estaban cuidando en los tanques. *Acropora millepora* produce una colonia que se asemeja a un grupo de árboles de Navidad. No se permitía a nadie acercarse a los tanques con una linterna, por miedo a que perturbara los relojes internos de los corales. En su lugar, todos llevaban una luces frontales rojas especiales. Con un frontal prestado, pude ver cómo los botones de huevos y esperma empujaban por debajo del tejido transparente de los pólipos. Los botones eran rosados y parecían cuentas de cristal.

El director del equipo, una investigadora llamada Selina Ward, de la Universidad de Queensland, se movía ajetreada entre los tanques de corales grávidos como una tocóloga preparándose para un parto. Me explicó que cada botón contenía de 20 a 40 huevos y probablemente miles de espermatozoos. Al poco rato de ser liberados, los botones se abrirían soltando los gametos, los cuales, si conseguían

encontrar pareja, darían lugar a unas minúsculas larvas rosadas. Tan pronto como se produjera el desove de los corales de su tanque, Ward planeaba recoger los botones y someterlos a distintos niveles de acidificación. Llevaba varios años estudiando los efectos de la acidificación sobre el desove, y sus resultados sugerían que unos niveles de saturación más bajos conducían a reducciones significativas de la fecundación. Los niveles de saturación también afectaban al desarrollo de las larvas y al asentamiento, el proceso por el cual las larvas de coral se dejan caer de la columna de agua, se adhieren a algo sólido y comienzan a producir nuevas colonias.



*Acropora millepora* en pleno desove. David Doubilet/National Geographic/Getty Images.

«En términos generales, hasta el momento todos nuestros resultados han sido negativos», me dijo Ward. «Si seguimos como hasta ahora, sin realizar cambios drásticos

en nuestras emisiones de carbono de manera inmediata, creo que estamos ante una situación en la que, en el futuro, lo más que tendremos serán manchas residuales de coral.»

Más tarde, aquella misma noche, algunos de los otros investigadores de la isla Heron, entre ellos los estudiantes de doctorado que estaban intentando acabar de soldar el mesocosmos que llevaba tanto retraso, se enteraron de que los corales de Ward estaban a punto de desovar y organizaron una salida nocturna de buceo de superficie. Eso era mucho más complicado que las salidas de buceo de One Tree, pues íbamos ataviados con trajes de neopreno y linternas subacuáticas. No había equipos suficientes para que todos saliéramos al mismo tiempo, de modo que organizamos dos turnos. Yo fui con el primero, y al principio me sentí decepcionada porque no parecía estar pasando nada. Entonces, al cabo de un rato, noté que unos pocos corales comenzaban a liberar sus botones. Casi de inmediato, muchos otros les siguieron. La escena me recordaba una nevisca en los Alpes, sólo que invertida. El agua se llenó de chorros de cuentas rosadas que flotaban hacia la superficie, como una nieve que cayera hacia arriba. Aparecieron unos gusanos iridiscentes que comenzaron a alimentarse de los botones, produciendo un relumbre espeluznante, y en la superficie comenzó a formarse una mancha de color malva. Cuando acabó mi turno, salí del agua a regañadientes y le pasé a otro mi linterna.

# 8

# El bosque y los árboles

*Alzatea verticillata*

«Los árboles son increíbles», me decía Miles Silman. «Son muy hermosos. Es verdad que se necesita tiempo para apreciarlos. Cuando entras en un bosque, lo primero que piensas es: “Ese árbol sí que es grande”, o “Ahí hay un árbol alto”, pero cuando te pones a pensar en su estrategia vital, en todo lo que implica que un árbol haya llegado hasta ese lugar, es realmente maravilloso. Es un poco como el vino; a medida que lo vas entendiendo, se torna más interesante.» Nos encontrábamos en el este de Perú, en los límites de los Andes, en lo alto de una montaña de 3.600 metros de altura en la que, de hecho, no había árboles, sólo arbustos y, de manera un tanto incongruente, una docena de vacas que nos miraban con recelo. El sol estaba bajando, y con él la temperatura, pero la vista, en el resplandor rojizo del crepúsculo, era extraordinaria. Al este se veía la cinta del río Alto Madre de Dios, que fluye hacia el río Beni, que a su vez vierte en el río Madeira y éste finalmente en el Amazonas. A nuestros pies se extendía el Parque Nacional Manú, uno de los mayores «puntos calientes» de biodiversidad de la Tierra.

«En tu campo de visión se encuentra una de cada nueve especies de aves del planeta», me dijo Silman. «Tan sólo en nuestras parcelas ya tenemos más de un millar de especies de árboles.»

Silman y yo, acompañados de algunos de los estudiantes de doctorado peruanos de Silman, acabábamos de alcanzar la cima tras partir aquella mañana de la ciudad de Cuzco. A vuelo de pájaro, la distancia que habíamos recorrido era de apenas 80 kilómetros, pero el viaje nos había llevado un día entero conduciendo por serpenteantes pistas de tierra. Las pistas culebreaban entre pueblos de abobe, campos de cultivo colgados en ángulos improbables y mujeres de faldas coloridas y sombreros marrones de fieltro que cargaban con sus bebés sujetos a la espalda. En el mayor de aquellos pueblos, paramos a comer algo y comprar provisiones para la excursión de cuatro días. Entre éstas había pan y queso, pero también una bolsa de la compra llena de hojas de coca que Silman había comprado por el equivalente de unos dos dólares.

Desde la cima de la montaña, Silman me explicó que el sendero que íbamos a tomar a la mañana siguiente para descender solían usarlo a menudo los vendedores de coca para subir. Los cocaleros traían las hojas desde los valles donde crecían hasta los pueblos más altos de los Andes, como el que acabábamos de pasar, y el sendero se venía usando con este propósito desde los días de los conquistadores.

Silman, que enseña en la Universidad de Wake Forest, se denomina a sí mismo ecólogo forestal, aunque también se siente cómodo con los títulos de ecólogo tropical, ecólogo de comunidades o biólogo de la conservación. Comenzó su carrera pensando en cómo se ensamblan las comunidades forestales y si tienden a mantenerse estables en el tiempo. Esto le llevó a examinar de qué modo había cambiado en el pasado el clima de los trópicos, lo que a su vez, de manera natural, le llevó a pensar en cómo podría cambiar en el futuro. Lo que aprendió le inspiró para establecer la serie de tres parcelas que ahora nos disponíamos a visitar. Cada

una de las parcelas de Silman (en total hay diecisiete) se encuentra a una altitud distinta y, por consiguiente, tiene un temperatura anual media distinta. En el mundo megadiverso de Manú, esto significa que cada parcela representa una muestra de una comunidad forestal fundamentalmente distinta.

En el imaginario popular, el calentamiento global se percibe esencialmente como una amenaza para las especies de climas fríos, y hay buenas razones para ello. A medida que el mundo se caliente, los polos se irán transformando. En el Ártico, los hielos marinos permanentes cubren apenas la mitad de la superficie que cubrían hace treinta años, y de aquí a treinta años, es posible que ya hayan desaparecido del todo. Como es obvio, cualquier animal que dependa del hielo, como las focas anilladas o los osos polares, se verán en un buen aprieto a medida que aquél se vaya fundiendo.



Las parcelas de Silman están dispuestas a lo largo de unas crestas. La parcela 1, en lo alto de la cresta, tiene la mayor altitud y, por tanto, la menor temperatura anual. © Miles R. Silman.

Pero el calentamiento global va a tener un impacto igual, o incluso mayor, a decir de Silman, en los trópicos. Las razones de esto son algo más complejas, pero comienzan por el hecho de que es en los trópicos donde viven en la actualidad la mayoría de las especies.

* * *

Consideremos por un momento el siguiente viaje, puramente hipotético. Nos encontramos en el Polo Norte un hermoso día de primavera. (De momento, sigue habiendo hielo abundante en el polo y no hay peligro de acabar en el agua.) Nos ponemos a andar, o mejor aún, a esquiar. Como sólo hay una dirección en la que moverse, nos dirigimos hacia el sur, pero podemos elegir entre 360 meridianos. Tal vez el lector, como yo, viva en los Berkshires y se dirija a los Andes, y decidamos seguir el meridiano 73 oeste. Esquiamos y esquiamos, y por fin, a unos 800 kilómetros del polo, llegamos a la isla de Ellesmere. Naturalmente, durante todo el trayecto no habremos visto ni un solo árbol o planta terrestre de ningún tipo, puesto que estábamos cruzando el océano Ártico. En Ellesmere tampoco veremos ningún árbol, por lo menos ninguno que podamos reconocer como tal. La única planta leñosa que crece en la isla es el sauce ártico, que apenas llega a la altura del tobillo. (El escritor Barry Lopez ha observado que si se pasa mucho tiempo caminando por el Ártico, uno acaba dándose cuenta de que «estás *encima* de un bosque».)[1]

Continuamos hacia el sur y cruzamos el estrecho de Cares (desplazarse se ha vuelto ahora más complicado, pero dejaremos eso de lado) y luego atravesamos el extremo más occidental de Groenlandia, cruzamos la bahía

de Baffin y alcanzamos la isla homónima. En Baffin tampoco hay nada que podamos llamar árbol, aunque pueden encontrarse varias especies de sauce que crecen formando nudos pegados al suelo. Por fin (ya llevamos más de 3.000 kilómetros de viaje) llegamos a la península de Ungava, en el norte de Quebec. Todavía estamos al norte del límite de los árboles, pero si seguimos caminando unos 400 kilómetros más, llegamos al borde del bosque boreal de Canadá, que es inmenso: se extiende sobre casi 400 millones de hectáreas y representa aproximadamente una cuarta parte de todos los bosques intactos que quedan en la Tierra. Pero la diversidad del bosque boreal es baja. En todos esos millones de hectáreas, sólo se encuentra una veintena de especies de árboles, entre ellos la pícea negra, el abedul papirífero y el abeto balsámico.

Al entrar en Estados Unidos, la diversidad de árboles irá subiendo lentamente. En Vermont llegaremos al bosque caducifolio oriental, que en otro tiempo cubría casi la mitad del país, pero hoy sólo se encuentra en fragmentos, la mayoría de crecimiento secundario. Vermont tiene unas 50 especies de árboles autóctonos, Massachusetts unas 55.[2] Carolina del Norte (que queda un poco al oeste de nuestra ruta) tiene más de 200 especies. Aunque el meridiano 73 no pasa por América Central, vale la pena observar que Belice, un país diminuto, más o menos del tamaño de Nueva Jersey, alberga unas 700 especies autóctonas de árboles.

El meridiano 73 cruza el ecuador en Colombia y luego cruza por partes de Venezuela, Perú y Brasil antes de entrar de nuevo en Perú. A unos trece grados de latitud sur pasa al oeste de las parcelas de árboles de Silman. En estas parcelas, que en conjunto ocupan una superficie más o menos del tamaño del parque de Fort Tryon de Manhattan,[*]

la diversidad es alucinante. Se han contado allí 1.035 especies, aproximadamente 50 veces más que en todo el bosque boreal de Canadá.

Además, la pauta que se observa con los árboles también se observa con las aves, las mariposas, las ranas, los hongos y casi con cualquier otro grupo que uno pueda imaginar (aunque curiosamente no con los áfidos).[3] Por regla general, la variedad de la vida es más pobre en los polos y más rica en las latitudes bajas. Esta pauta se conoce en la literatura científica como «gradiente latitudinal de diversidad», o GLD, y ya lo había observado el naturalista alemán Alexander von Humboldt, maravillado por los esplendores biológicos de los trópicos, que ofrecen «un espectáculo tan variado como la azulada bóveda del firmamento».[4]

«La verde alfombra que una exuberante Flora extiende sobre la superficie de la Tierra no está tejida del mismo modo en todas sus partes», escribió Humboldt a su regreso de América del Sur en 1804.[5] «El desarrollo orgánico y la abundancia de vitalidad aumentan de forma gradual de los polos al ecuador.» Más de dos siglos después, seguimos sin saber a qué se debe este fenómeno, aunque se han propuesto más de treinta teorías para explicarlo.

Una teoría sostiene que en los trópicos viven más especies porque allí el reloj evolutivo corre más rápido.[6] Del mismo modo que los agricultores pueden producir más cosechas al año en latitudes bajas, los organismos pueden producir más generaciones. Cuanto mayor es el número de generaciones, mayores son las probabilidades de que se produzcan mutaciones genéticas. Cuanto mayor es la probabilidad de mutaciones, mayor la probabilidad de que surjan nuevas especies.

Una segunda teoría propone que los trópicos contienen más especies porque las especies tropicales son más quisquillosas. Según esta argumentación, lo importante de los trópicos es que allí las temperaturas son relativamente estables. Por consiguiente, los organismos tropicales tienden a tener tolerancias térmicas relativamente estrechas, y aun las más leves diferencias climáticas, causadas, por ejemplo, por valles y colinas, pueden constituir barreras insuperables. (Un célebre artículo sobre este tema lleva el título de «¿Por qué los puertos de montaña son más altos en los trópicos?».)[7] Por tanto, es más fácil que las poblaciones queden aisladas y de ello se siga un proceso de especiación.

Aun otra teoría se centra en la historia. Según esta explicación, el hecho más sobresaliente sobre los trópicos es que son antiguos. Hace muchos millones de años que existe una u otra versión de la selva amazónica, antes incluso de que hubiera un Amazonas. Así pues, en los trópicos ha habido mucho tiempo para que la diversidad, por decirlo así, se acumulase. En cambio, hace sólo 20.000 años, prácticamente todo Canadá estaba cubierto por un capa de hielo de más de un kilómetro de grosor. Lo mismo pasaba en Nueva Inglaterra, lo que significa que todas las especies que hoy se encuentran en Nueva Escocia, Ontario, Vermont o Nuevo Hampshire son migrantes que han llegado (o regresado) durante los últimos miles de años. La teoría de la diversidad en función del tiempo fue propuesta originalmente por el adversario de Darwin, o si se prefiere, codescubridor, Alfred Russel Wallace, quien observó que en los trópicos «la evolución ha tenido muchas oportunidades», mientras que en las regiones cubiertas por los hielos «se encuentra con innumerables obstáculos en su camino».[8]

* * *

A la mañana siguiente, nos arrastramos fuera de los sacos de dormir muy temprano para ver la salida del sol. Durante la noche habían entrado nubes desde la cuenca del Amazonas, y las observamos desde arriba mientras se tornaban rosadas primero y luego de ardiente color anaranjado. En el frío amanecer, recogimos nuestros enseres y comenzamos el descenso por el sendero. «Escoge una hoja de forma interesante», me dijo Silman en cuanto bajamos hasta el bosque nuboso. «La verás durante unos cuantos centenares de metros, y luego ya no. Eso es todo. Ésa es toda el área de distribución del árbol.»

Silman llevaba un machete de unos 60 centímetros de longitud que utilizaba para cortar la maleza. Ocasionalmente, lo blandía en el aire para señalar alguna cosa interesante: un grupo de pequeñas orquídeas blancas con flores no más grandes que un grano de arroz; una planta de la familia de los arándanos con bayas de vivos colores; un arbusto parásito de brillantes flores anaranjadas. Uno de los estudiantes de doctorado de Silman, William Farfan Rios, me pasó una hoja del tamaño de un plato.

«Ésta es una nueva especie», me dijo. A lo largo del sendero, Silman y sus estudiantes han encontrado 30 especies de árboles nuevas para la ciencia. (Sólo estos descubrimientos ya son comparables con todas las especies del bosque boreal de Canadá.) Y hay otras 300 especies más que sospechan que podrían ser nuevas, pero que todavía tienen que clasificar formalmente. Más aún, han descubierto todo un género nuevo.

«Eso no es como encontrar otro *tipo* de roble u otro *tipo* de nogal», observó Silman. «Es como encontrar “roble” o encontrar “nogal”.» Enviaron hojas de los árboles de ese

género a un especialista de la Universidad de California-Davis, pero, por desgracia, murió antes de poder saber dónde situar la nueva rama en el árbol taxonómico.

Aunque era invierno en los Andes y el punto álgido de la estación seca, el sendero estaba embarrado y patinaba. Como se había excavado un profundo canal en la ladera de la montaña, caminábamos con el suelo a nivel de los ojos. En distintos lugares habían crecido árboles por encima y el canal parecía un túnel. El primer túnel que encontramos era oscuro y húmedo, y colgaban de él finas raicillas. Otros eran aún más largos e incluso a mediodía requerían una linterna frontal para poder atravesarlos. A menudo me sentí como si hubiera penetrado en un espeluznante cuento de hadas.

Pasamos por la Parcela 1, a una altitud de 3.450 metros, pero no nos paramos allí. La Parcela 2, a una altitud de 3.200 metros, había quedado erosionada recientemente por un corrimiento de tierras, algo que había satisfecho a Silman, que tenía interés en saber qué árboles la recolonizarían.

Cuanto más descendíamos, más denso se tornaba el bosque. Los árboles no era simplemente árboles; eran más bien como jardines botánicos, llenos de helechos, orquídeas y bromelias y entrelazados por lianas. En algunos lugares, la vegetación era tan espesa que se habían formado tapetes de suelo por encima del nivel de tierra, y también en ellos habían germinado plantas, cual bosques en el aire. Como casi cada mancha de luz y trozo de espacio estaban ocupados, la competencia por los recursos eran evidentemente feroz, y casi parecía posible ver la selección natural en acción, «cada día y cada hora» buscando «las más ligeras variaciones». (Otra teoría de por qué los trópicos son tan diversos es que la mayor competencia ha empujado a las especies a especializarse, y en una misma

cantidad de espacio caben más especialistas.) Podía oír las llamadas de los pájaros, pero sólo en muy raras ocasiones pude verlos: los árboles no me dejaban ver los animales.



La vista dentro de la Parcela 4. © William Farfan Rios.

En algún lugar de la Parcela 3, a una altitud de 2.950 metros, Silman sacó la bolsa de la compra llena de hojas de coca. Él y sus estudiantes acarreaban lo que me parecía una absurda cantidad de cosas pesadas: una bolsa de manzanas, una de naranjas, una guía de aves de setecientas páginas, una guía de plantas de novecientas páginas, un iPad, botellas de benceno, una lata de pintura en aerosol, una bola de queso, una botella de ron. La coca, me dijo Silman, hacía que una mochila pesada pareciera más ligera. También entretenía el hambre, aliviaba dolores y molestias, y ayudaba a combatir el mal de altura. A mí me había dado

poco que llevar, aparte de mis propios trastos; aun así, cualquier cosa que aligerase el peso de mi mochila merecía la pena probarla. Cogí un puñado de hojas y una pizca de bicarbonato. (El bicarbonato, o alguna otra sustancia alcalina, es necesario para que la coca surta su efecto farmacéutico.) Las hojas eran correosas y sabían como a libro viejo. En poco tiempo los labios se me quedaron adormecidos, y los dolores y las molestias comenzaron a desaparecer. Una o dos horas más tarde, volví a pedir unas pocas más. (Desde entonces, muchas veces he deseado tener a mano aquella bolsa de la compra.)

A primera hora de la tarde alcanzamos un claro pequeño y húmedo donde, según me informaron, íbamos a pasar la noche. Estábamos en el margen de la Parcela 4, a 2.700 metros de altura. Silman y sus estudiantes ya habían acampado allí antes, en ocasiones durante semanas. El claro estaba lleno de bromelias que habían sido arrancadas y mordisqueadas. Silman las identificó como los restos dejados por un oso de anteojos. Este oso, conocido también como oso andino, es la última especie de oso que queda en América del Sur. Es de color negro o pardo oscuro con beige alrededor de los ojos, y se alimenta sobre todo de plantas. No sabía que había osos en los Andes, y no pude dejar de pensar en el oso Paddington que llegaba a Londres desde «el más profundo y oscuro Perú».

* * *

Cada una de las diecisiete parcelas de bosque de Silman tiene una superficie de una hectárea, y las parcelas se hallan dispuestas a lo largo de una cresta, un poco como los botones de una capa, desde lo alto hasta la cuenca del Amazonas, que prácticamente está a nivel del mar. En las parcelas, alguien (Silman o alguno de sus doctorandos) ha etiquetado todos y cada uno de los árboles de más de 10

centímetros de diámetro, que luego se midieron, se identificaron a nivel de especie y se les asignó un número. La Parcela 4 contiene 777 árboles de más de 10 centímetros que pertenecen a 60 especies distintas. Silman y sus estudiantes se estaban preparando para rehacer el censo de las parcelas, un proyecto que esperaban que les ocupase varios meses. Todos los árboles que ya estaban etiquetados tenían que medirse de nuevo, y todo árbol que hubiera aparecido o muerto desde el último recuento tenía que ser añadido o sustraído. Hubo largas, talmúdicas discusiones, en parte en inglés y en parte en español, sobre cómo debía realizarse exactamente el nuevo censo. Una de las pocas que pude seguir se centró en la asimetría. El tronco de un árbol no es perfectamente circular, así que según cómo se orienten los pies de rey en el momento de medir, se obtiene un diámetro distinto. Finalmente se decidió que los pies de rey debían orientarse con la mandíbula fijada sobre un punto rojo pintado con aerosol en cada uno de los árboles.

A causa de las diferencias de altitud, cada una de las parcelas de Silman tiene una temperatura media anual distinta. Por ejemplo, en la Parcela 4 la media es de 12 grados. En la Parcela 3, que se encuentra unos 250 metros más arriba, es de 10,5, y en la Parcela 5, que está unos 250 metros más abajo, es de unos 13 grados. Como las especies tropicales tienden a tener intervalos térmicos estrechos, estas diferencias de temperatura se traducen en una elevada tasa de recambio de especies: árboles que son abundantes en una parcela pueden faltar totalmente en la que está inmediatamente encima o debajo.

«Algunos de los dominantes tienen el intervalo altitudinal más estrecho», me explicó Silman. «Esto sugiere que lo que los convierte en buenos competidores en este intervalo hace que no lo sean tanto fuera de él.» En la

Parcela 4, por ejemplo, el 90% de las especies de árboles son distintas de las especies que se encuentran en la Parcela 1, que está a sólo 750 metros más de altitud.



En las parcelas, se han marcado todos los árboles de más de 10 centímetros de diámetro. © Miles Silman.

Silman estableció las parcelas en 2003. Su idea era volver año tras año, década tras década, para ver qué ocurría. ¿Cómo responderían los árboles al cambio climático? Una posibilidad, la que podríamos llamar escenario de Birnam Wood, era que los árboles de cada zona comenzasen a desplazarse ladera arriba. Naturalmente, los árboles en sí no se mueven, pero sí pueden dispersar sus semillas para formar nuevos árboles. De acuerdo con este escenario, a medida que el clima se vaya calentando, las especies que hoy se encuentran en la Parcela 4 comenzarían a aparecer a mayor altitud, en la Parcela 3, mientras que las de la Parcela 3 comenzarían a aparecer en la Parcela 2, y así sucesivamente. Silman y sus

estudiantes completaron la primera repetición de censo en 2007. Silman consideraba que aquel esfuerzo era parte de su proyecto a largo término, pero no esperaba descubrir nada interesante después de tan sólo cuatro años. Sin embargo, uno de sus estudiantes de posdoctorado, Kenneth Feeley, insistió en analizar todos los datos. El trabajo de Feeley reveló que el bosque, de una manera que ya podía cuantificarse, estaba en marcha.

Hay varias formas de calcular tasas de migración: por ejemplo, por el número de árboles o, alternativamente, por su masa. Feeley agrupó los árboles por género. En términos muy generales, encontró que el calentamiento global estaba empujando a los géneros ladera arriba a una tasa media de migración de unos 2,5 metros al año. Pero también observó que la media enmascaraba una sorprendente gama de respuestas. Igual que las pandillas de niños durante el recreo, los distintos árboles se comportaban de maneras muy diversas.

Tomemos como ejemplo los árboles del género *Schefflera*, que pertenece a la familia del gingseng. Estos árboles tienen hojas compuestas palmadas, dispuestas alrededor de un punto central del mismo modo que los dedos se disponen alrededor de la palma. (Uno de los miembros del grupo, *Schefflera arboricola*, de Taiwán, conocido popularmente como árbol paraguas enano, se suele cultivar como ornamental.) Feeley descubrió que los árboles de *Schefflera* eran prácticamente hiperactivos; corrían por la ladera a la sorprendente velocidad de 30 metros al año.[9]

En el extremo opuesto estaban los árboles del género *Ilex*. Éstos tienen hojas alternas, a menudo brillantes, con los márgenes serrados o espinosos. (El género incluye *Ilex aquifolium*, el acebo, que es autóctono de Europa.) Los

árboles de *Ilex* eran como los niños que pasan el recreo tumbados en un banco. Si *Schefflera* corría ladera arriba, *Ilex* se quedaba donde estaba, más o menos inerte.

Toda especie (o grupo de especies) que no puede soportar cierta variación de temperaturas no es una especie (o grupo) cuyo destino nos concierna ahora, porque ya no existe. En todos los puntos de la superficie de la Tierra las temperaturas fluctúan. Lo hacen entre la noche y el día y de una estación a otra. Incluso en los trópicos, donde la diferencia entre invierno y verano es mínima, las temperaturas pueden variar significativamente entre la estación lluviosa y la seca. Los organismos han desarrollado todo tipo de estrategias para enfrentarse a estas variaciones. Hibernan, estivan o migran. Disipan calor jadeando o lo conservan con pelaje más denso. Las abejas se calientan a sí mismas contrayendo los músculos del tórax. El tántalo americano se refresca defecando sobre sus propias patas. (Cuando hace mucho calor, los tántalos americanos llegan a excretar sobre las patas hasta una vez por minuto.)

A lo largo del tiempo que persiste una especie, que es del orden de millones de años, entran en juego cambios a más largo plazo de las temperaturas, cambios climáticos. Durante los últimos cuarenta millones de años, la Tierra ha permanecido en una fase general de enfriamiento. No está del todo claro por qué, pero una teoría dice que el levantamiento del Himalaya dejó grandes extensiones de roca expuestas a la meteorización química, lo que a su vez condujo a una reducción del dióxido de carbono en la atmósfera. Al principio de esta larga fase de enfriamiento, en el Eoceno tardío, el mundo era tan cálido que casi no había hielo en el planeta. Hace unos 35 millones de años,

las temperaturas globales habían bajado lo bastante como para que comenzaran a formarse glaciares en la Antártida. Hace unos 3 millones de años, las temperaturas habían bajado tanto que también el Ártico se heló y quedó cubierto por un casquete de hielo permanente. Entonces, hace unos 2,5 millones de años, al principio de la época del Pleistoceno, el mundo entró en un periodo de glaciaciones recurrentes. Enormes campos de hielo avanzaron por todo el hemisferio norte, y no se fundieron hasta unos 100.000 años más tarde.

Incluso después de que se aceptara la idea de las edades de hielo (propuesta originalmente en la década de1830 por Louis Agassiz, un protegido de Cuvier) nadie sabía explicar cómo puede producirse un fenómeno tan sorprendente. En 1898, Wallace observó que «algunos de los intelectos más finos y potentes de nuestros días han aplicado su ingenio» al problema, pero hasta el momento «totalmente en vano».[10] Harían falta otros tres cuartos de siglo para dar respuesta a la pregunta. Hoy se acepta en general que las edades de hielo tienen su origen en pequeños cambios en la órbita de la Tierra causados, entre otras cosas, por el tirón gravitatorio de Júpiter y Saturno. Estos cambios alteran la distribución de la radiación solar a distintas latitudes y a lo largo del año. Cuando la cantidad de radiación que llega a las latitudes más septentrionales en verano se acerca a un mínimo, la nieve comienza a acumularse allí. Esto da inicio a un ciclo de realimentación que provoca una disminución de los niveles de dióxido de carbono atmosférico. Las temperaturas caen, se acumula más nieve, y así sucesivamente. Con el tiempo, el ciclo orbital entra en una nueva fase, y el ciclo de realimentación comienza a funcionar al revés. El hielo empieza a fundirse, los niveles globales de $CO_2$, a aumentar, y los hielos, a retirarse.

Durante el Pleistoceno, esta pauta de congelación-fusión se repitió unas veinte veces, con efectos que afectaron a todo el mundo. Tan grande era la cantidad de agua retenida en el hielo durante cada episodio de glaciación que los niveles del mar bajaron en unos cien metros, y el enorme peso de las capas de hielo bastó para deprimir la corteza de la Tierra, empujándola contra el manto. (En lugares, como el norte de Gran Bretaña y Suecia, todavía se está produciendo el ajuste posglacial después de la última glaciación.)

¿Cómo se las arreglaron las plantas y animales del Pleistoceno para enfrentarse a estos cambios de temperatura? Para Darwin, lo conseguían desplazándose. En *El origen de las especies* describe grandes migraciones a escala continental:

> Cuando vino el frío, y a medida que hacia el sur las zonas se tornaban sucesivamente más apropiadas para los organismos árticos y menos para sus anteriores habitantes, de clima más templado, estos últimos serían suplantados y las producciones del norte ocuparían su lugar … Al volver el calor, las formas árticas se replegarían hacia el norte, seguidas de cerca, en su retirada, por las producciones de las regiones templadas.[11]

La explicación de Darwin ha sido confirmada desde entonces por todo tipo de indicadores físicos. Los investigadores que estudian los restos de antiguos escarabajos, por ejemplo, han encontrado que durante las edades de hielo, incluso los insectos más pequeños migraron miles de kilómetros siguiendo el clima. (Por citar siquiera uno de estos, *Tachinus caelatus* es un pequeño y poco vistoso escarabajo de color pardo que hoy vive en las montañas del oeste de Ulan Bator, en Mongolia. Durante el último periodo glacial era común en Inglaterra.)

Por su magnitud, el cambio de temperatura proyectado para el siglo venidero es aproximadamente el mismo que los cambios de temperatura que se produjeron durante las

edades de hielo. (Si se mantienen las actuales tendencias de emisión, se espera que los Andes se calienten en unos 5 grados.)[12] Pero si la magnitud del cambio es parecida, la tasa no lo es, y, una vez más, la tasa es la clave. En la actualidad, el calentamiento se está produciendo al menos diez veces más deprisa que al final de la última glaciación, y al final de todas aquellas glaciaciones que la precedieron. Para mantener el ritmo, los organismos tendrán que migrar, o de algún modo adaptarse, al menos diez veces más rápido. En los gráficos de Silman, sólo los árboles de pies (o raíces) más ligeros, como el hiperactivo género *Schefflera*, mantienen el ritmo con el aumento de las temperaturas. Cuántas especies en general serán capaces de desplazarse lo bastante rápido sigue siendo una pregunta abierta, aunque, como Silman me hizo ver, queramos o no, es probable que en las próximas décadas conozcamos la respuesta.

El Parque Nacional Manú, donde se encuentran las parcelas de Silman, está situado en la esquina sureste de Perú, cerca de la frontera del país con Bolivia y Brasil, y se extiende sobre unos 15.000 km$^2$. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Manú es «posiblemente el área protegida de mayor diversidad biológica de todo el mundo». Muchas especies sólo pueden encontrarse dentro del parque y su entorno inmediato, por ejemplo el helecho arborescente *Cyathea multisegmenta*, un ave conocida como titirijí cariblanco, un roedor llamado rata toro de Barbara Brown y un pequeño sapo negro conocido únicamente por su nombre científico, *Rhinella manu*.

La primera noche en el sendero, uno de los estudiantes de Silman, Rudi Cruz, insistió en que fuéramos todos en busca de *Rhinella manu*. Había visto varios sapos durante una visita previa al lugar, y estaba seguro de poder encontrarlos otra vez si lo intentábamos. Poco tiempo antes yo había leído un artículo sobre la expansión del hongo quitridio en Perú (según los autores, ya había llegado a Manú), pero decidí no mencionarlo.[13] Quizá *Rhinella mani* todavía andaba por allí, en cuyo caso ciertamente deseaba verlo.

Equipados con luces frontales, empezamos a seguir el sendero como una hilera de mineros del carbón por un túnel. Por la noche, el bosque se había convertido en una impenetrable maraña negra. Cruz nos dirigía, enfocando con su luz los troncos y buscando entre las bromelias. El resto hacíamos lo propio. Así seguimos durante tal vez una hora y sólo encontramos unas cuantas ranas pardas del género *Pristimantis*. Al cabo de un rato, la gente comenzó a aburrirse y a regresar al campamento. Cruz no quería rendirse. Pensando tal vez que el problema éramos todos los otros, siguió el sendero en la dirección opuesta. «¿Has encontrado algo?», le preguntaba alguien cada cierto tiempo desde la oscuridad.

«Nada», nos llegaba la respuesta repetida.

Al día siguiente, tras más abstrusas discusiones sobre la medición de los árboles, empaquetamos para seguir por la cresta abajo. Al ir a buscar agua, Silman había encontrado un grupo de bayas blancas entremezcladas con lo que parecían cintas de brillante color púrpura. Había identificado aquella disposición como la inflorescencia de un árbol de la familia Brasicáceas, la familia de la mostaza, pero nunca había visto nada parecido, lo que le hizo pensar, según me dijo, que podría tratarse de una nueva especie. La prensaron entre papel de periódico para transportarla

montaña abajo. La idea de que pudiera haber presenciado el descubrimiento de una especie, aunque no hubiera tenido absolutamente nada que ver con ello, me llenó de una extraña forma de orgullo.

De vuelta en el sendero, Silman siguió cortando con el machete, haciendo pausas aquí y allí para señalar alguna curiosidad botánica, como un arbusto que les roba el agua a sus vecinos con unas raíces que parecen agujas. Silman habla de las plantas del mismo modo que otras personas hablan de las estrellas de cine. A un árbol me lo describió como «carismático». Otros eran «hilarantes», «locos», «geniales», «listos» o «asombrosos».

En algún momento a media tarde, salimos a un punto alto con una vista sobre el valle de la siguiente cresta. Sobre la cresta, los árboles estaban temblando, una señal de que unos monos lanudos se estaban abriendo paso por el bosque. Todos paramos para intentar verlos. Mientras saltaban de un árbol a otro, los monos emitían una especie de trino un poco parecido al canto de los grillos. Silman sacó la bolsa de la compra y la fue pasando.

Algo más tarde, llegamos a la Parcela 6, a una altitud de 2.230 metros, donde se había descubierto el árbol del nuevo género. Silman lo señaló con el machete. El árbol tenía un aspecto bastante normal, pero intenté mirarlo con sus ojos. Era más alto que la mayoría de sus vecinos (tal vez se podría describir como «señorial» o «escultural»), con una corteza rojiza y hojas simples y alternas. Pertenecía a las Euforbiáceas, la familia de las lechetreznas, entre cuyos miembros se encuentra la poinsettia. Silman estaba ansioso por conocer todo lo que pudiera sobre el árbol, así que en cuanto se encontrara con un nuevo taxónomo para reemplazar al que había muerto, podría enviarle todo el

material necesario. Él y Farfan se acercaron a ver qué podían encontrar. Volvieron con algunas cápsulas de semillas, tan gruesas y duras como la cáscara de la avellana, pero de una forma delicada, como unas lilas en flor. Las cápsulas eran de color marrón oscuro por fuera y del color de la arena por dentro.

Aquella noche, el sol se puso antes de que alcanzáramos la Parcela 8, donde queríamos acampar. Seguimos caminando en la oscuridad, y luego plantamos las tiendas y preparamos la cena, todo a oscuras. Me metí en el saco de dormir hacia las nueve, pero unas horas más tarde me despertó una luz. Supuse que alguien se había levantado para orinar, me di la vuelta y seguí durmiendo. Por la mañana, Silman se mostró sorprendido de que hubiera podido dormir con toda la conmoción. Seis grupos de cocaleros habían atravesado el campamento durante la noche. (En Perú, aunque la venta de coca es legal, todas las compras tienen que realizarse a través de una agencia gubernamental llamada ENACO, una restricción que quienes la cultivan intentan evitar a toda costa.) Todos y cada uno de los grupos habían pisado su tienda y, al final, enojado, les había gritado a los cocaleros algo que, tenía que admitir, probablemente no fuese la mejor idea.

* * *

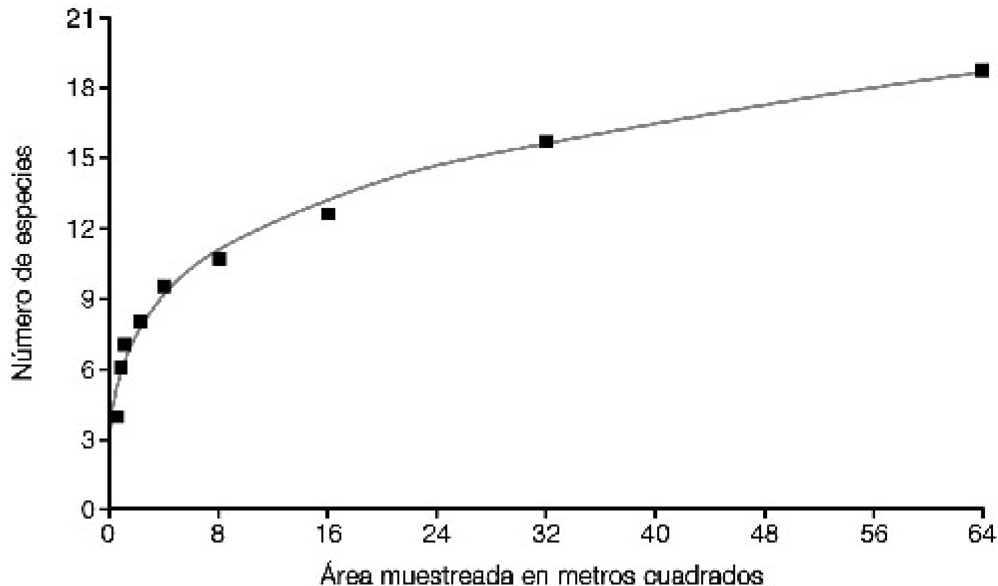
En ecología es difícil encontrar reglas. Una de las pocas que se aceptan universalmente es la «relación especies-área», o SAR (por sus siglas en inglés), que se ha calificado como lo más parecido que tiene la ecología a la tabla periódica. En su formulación más general, la relación especies-área resulta tan simple que parece obvia. Cuanto mayor es el área que se muestrea, mayor es el número de especies encontradas. Esta pauta ya la había notado en la década de 1770 Johann Reinhold Forster, un naturalista que había

navegado con el capitán Cook en su segundo viaje, el que siguió a su desafortunada colisión con el Arrecife de la Gran Barrera. En la década de 1920 fue formulada matemáticamente por un botánico sueco, Olof Arrhenius. (Casualmente, Olof era el hijo del químico Svante Arrhenius, quien en la década de 1890 había sugerido que la quema de combustibles fósiles conduciría a un planeta más cálido.) Más tarde, en los años sesenta del siglo XX, fue refinada y desarrollada por E. O. Wilson y Robert MacArthur.

La correlación entre el número de especies y el tamaño del área no es lineal, sino que forma una curva que se dobla de una manera predecible. Por lo general, la relación se expresa mediante la fórmula $S = cAz$, donde $S$ es el número de especies, $A$ el tamaño del área, y $c$ y $z$ son constantes que varían según la región y el grupo taxonómico considerado (y, por tanto, no son realmente constantes en el sentido habitual). La relación se considera una regla porque la razón se mantiene para cualquier terreno. Es igual que se estudie una cadena de islas o una selva tropical o un parque natural al lado de casa, siempre se encuentra que el número de especies varía de acuerdo con la insistente ecuación: $S = cAz$.[*]

Para pensar en la extinción, la relación especies-área es fundamental. Una forma (cabe admitir que simplificada) de concebir lo que los humanos hacemos con el mundo es que en todos lados estamos alterando el valor de $A$. Pensemos, por ejemplo, en una pradera que en otro tiempo ocupara 1.000 $km^2$. Supongamos que la pradera albergara un centenar de especies de aves (o de escarabajos o de serpientes). Si se eliminara la mitad de la pradera para convertirla en tierras agrícolas o centros comerciales, debería ser posible calcular, con la ayuda de la relación especies-área, la proporción de especies de aves (o de

escarabajo o de serpientes) que se perdería. En términos muy aproximados, la respuesta es 10%. (Conviene recordar una vez más que la relación no es lineal.) Como hace falta mucho tiempo para que el sistema alcance un nuevo equilibrio, no cabe esperar que las especies desaparezcan de golpe, pero sí que sigan esa tendencia.




Un ejemplo típico de la relación especies-área, que ilustra la forma de la curva.

En 2004, un grupo de científicos decidió usar la relación especiesárea para generar una primera estimación del riesgo de extinción que suponía el cambio climático. Primero, los miembros del equipo recopilaron datos sobre las actuales áreas de distribución de más de mil especies de plantas y animales. Luego correlacionaron estas áreas de distribución con las actuales condiciones climáticas. Por último, imaginaron dos escenarios extremos. En uno, todas las especies se suponían inertes, al estilo de los árboles del género *Ilex* en las parcelas de Silman. A medida que aumentaba la temperatura, permanecían en su sitio, de manera que, en la mayoría de los casos, la cantidad de área

climáticamente apropiada para ellas se iba encogiendo. Las proyecciones basadas en este escenario «sin dispersión» eran deprimentes. Si el calentamiento se mantenía en mínimos, el equipo estimaba que para el año 2050 habrían quedado «condenadas a la extinción» entre el 22 y el 31% de las especies. Si el calentamiento alcanzaba lo que por aquel entonces se consideraba un máximo probable (una cifra que hoy nos parece demasiado baja) a mediados de este siglo, la proporción de especies destinadas a desaparecer era del 38 al 52%.

«He aquí otra forma de expresar lo mismo», escribía Anthony Barnosky, un paleontólogo de la Universidad de California-Davis, sobre los resultados del estudio. «Mire a su alrededor. Mate la mitad de lo que vea. O si se siente generoso, mate una cuarta parte de lo que ve. De eso estamos hablando.»[14]

En el segundo escenario, más optimista, se suponía que las especies eran muy móviles. Bajo este escenario, a medida que las temperaturas ascendían, los organismos podían colonizar nuevas áreas que satisficieran las condiciones climáticas a las que estaban adaptadas. Aun así, muchas especies acabaron sin un lugar adonde ir. A medida que la Tierra se calentaba, las condiciones a las que estaban acostumbradas sencillamente desaparecían. (Los «climas menguantes» resultaron estar sobre todo en los trópicos.) Otras especies veían cómo su hábitat disminuía porque para mantener el ritmo del clima tenían que desplazarse ladera arriba, y el área de las cimas de las montañas es menor que el de la base.

Con el escenario de «dispersión universal», el equipo, dirigido por Chris Thomas, un biólogo de la Universidad de York, encontró que, con el mínimo de calentamiento proyectado, del 9 al 13% de las especies quedarían «condenadas a la extinción» para el año 2050. Con el

calentamiento máximo, las cifras se situaban entre el 21 y el 32%. Tomando la media de los dos escenarios y la proyección media del clima, el grupo llegó a la conclusión de que el 24% de todas las especies estaban abocadas a la extinción.

El estudio se publicó como artículo de portada en la revista *Nature*.[15] En la prensa popular, el amasijo de cifras que presentaban los investigadores quedó resumido en una sola. «El cambio climático podría llevar a la extinción a un millón de especies en todo el mundo», declaró la BBC. «Para 2050 el calentamiento habrá condenado a un millón de especies», fue el titular escogido por *National Geographic*.

El estudio ha sido criticado con diversos argumentos. Ignora las interacciones entre organismos. No tiene en cuenta la posibilidad de que plantas y animales puedan tolerar una gama más amplia de climas de lo que sugiere su actual distribución. Sólo contempla hasta 2050 cuando, bajo cualquier escenario remotamente plausible, el calentamiento proseguirá mucho tiempo después. Aplica la relación especies-área a un conjunto de condiciones nuevas y, por tanto, no probadas.

Estudios más recientes han llegado a conclusiones a favor y en contra del artículo de *Nature*. Algunos llegaron a la conclusión de que el artículo sobrestimaba el número de extinciones que probablemente cause el cambio climático, otros que se había quedado corto. Por su parte, Thomas ha reconocido que muchas de las objeciones al artículo de 2004 pueden ser válidas. Pero ha señalado que todas las estimaciones que se han propuesto desde entonces se sitúan en el mismo orden de magnitud. Así, según ha observado, «alrededor del 10% o más de especies, no el 1% o el 0,01%», es probable que queden condenadas por el cambio climático.

En un artículo reciente, Thomas sugiere que sería útil situar aquellas cifras «en un contexto geológico».[16] El cambio climático por sí solo «no es probable que genere una extinción en masa tan grave como una de las Cinco Grandes», ha escrito. Sin embargo, hay «una probabilidad elevada de que el cambio climático por sí solo pueda generar un nivel de extinción a la par, o incluso mayor que la de los eventos de extinción ligeramente “menores”» del pasado.

«Los impactos potenciales —concluye— respaldan la idea de que hemos entrado recientemente en el Antropoceno.»

«A los británicos les gusta marcar todo con plástico», me dijo Silman. «Nosotros pensamos que es una torpeza.» Era nuestro tercer día en el sendero, y habíamos llegado a la Parcela 8, donde habíamos encontrado un trozo de cinta azul que marcaba los límites de la parcela. Silman sospechaba que era obra de sus colegas de Oxford. Silman pasa mucho tiempo en Perú, en ocasiones varios meses seguidos, pero durante buena parte del año no está allí, y son muchas las cosas que pasan de las que no sabe nada (y, por lo general, le importan poco). Por ejemplo, durante nuestra excursión Silman encontró varios cestos de alambre suspendidos en las parcelas forestales para recoger semillas. Era obvio que se habían colocado para propósitos de investigación, pero nadie le había dicho nada ni le había pedido permiso, de modo que representaban cierta forma de piratería científica. Imaginé un grupo de científicos inconformistas atravesando el bosque como cocaleros.

En la Parcela 8, Silman me presentó otro árbol «realmente interesante», *Alzatea verticillata*. Esta especie es insólita por ser la única de su género, y aún más por ser la única especie de su familia. Tiene hojas oblongas, de la textura del papel y color verde brillante, y unas flores pequeñas y blancas que, según Silman, huelen como el azúcar quemado cuando florecen. *Alzatea verticillata* puede alcanzar una gran altura, y a la altitud en que estábamos (unos 1.800 metros), es el árbol que domina el dosel del bosque. Es una de esas especies que parecen estar ahí sentadas sin inmutarse.

Las parcelas de Silman representan otra respuesta a Thomas, una respuesta práctica en lugar de teórica. Los árboles obviamente son mucho menos móviles que, por ejemplo, los trogones, unas aves tropicales comunes en Manú, o incluso las garrapatas. Pero en el bosque nuboso los árboles forman la estructura del ecosistema igual que los corales forman la estructura de los arrecifes. Ciertos tipos de insectos dependen de ciertos tipos de árbol, y ciertos tipos de aves dependen de aquellos insectos, y así hacia lo alto de la cadena trófica. La inversa también es cierta: los animales asimismo son esenciales para la supervivencia del bosque. Son los polinizadores y dispersadores de semillas, y las aves impiden que los insectos disparen sus poblaciones. Como poco, el trabajo de Silman sugiere que el calentamiento global reestructurará las comunidades ecológicas. Los distintos grupos de árboles responderán de forma distinta al calentamiento, de manera que las asociaciones actuales se desmoronarán y se formarán otras nuevas. En esta reestructuración a escala planetaria, algunas especies prosperarán. Muchas plantas pueden beneficiarse de los niveles elevados de dióxido de

carbono, puesto que les resultará más fácil obtener el $CO_2$ que necesitan para la fotosíntesis. Otras entrarán en declive y finalmente desaparecerán.

Silman se ve a sí mismo como una persona positiva. Esto se refleja (o al menos se reflejaba) en sus investigaciones. «Mi laboratorio ha sido un poco el laboratorio radiante», me dijo. Ha defendido públicamente que, con mejor vigilancia y reservas mejor situadas, muchas de las amenazas a la biodiversidad (talas ilegales, minería, ganadería extensiva) se podrían minimizar.

«Incluso en áreas tropicales, sabemos cómo acabar con esto», me decía. «Estamos consiguiendo una mejor gobernanza.»

Pero en un mundo que cambia tan rápido, la idea misma de una reserva bien situada se torna, si no discutible, al menos mucho más problemática. A diferencia de una compañía maderera, pongamos por caso, al cambio climático no se le puede obligar a respetar una frontera. Alterará las condiciones de la vida en Manú con la misma seguridad que las alterará en Cuzco o Lima. Y con tantas especies en marcha, una reserva fija en el espacio no es ninguna garantía contra la pérdida.

«Éste es un conjunto de presiones sobre las especies cualitativamente diferente», me dijo Silman. «En otros tipos de perturbaciones humanas siempre quedaban refugios en el paisaje. Pero el clima lo afecta *todo*.» Como la acidificación de los océanos, se trata de un fenómeno global, o, si tomamos prestadas las palabras de Cuvier, una «revolución en la superficie de la Tierra».

Aquella tarde salimos a una pista de tierra. Silman había recolectado varias plantas que le interesaban para su laboratorio, y las llevaba atadas a su enorme mochila, por lo

que parecía un Johnny Appleseed del bosque nuboso.* El sol había salido, pero había llovido un poco antes, y grupos de mariposas negras y rojas y azules revoloteaban sobre las charcas. Ocasionalmente, pasaba rugiendo un camión cargado de troncos. Las mariposas no podían dispersarse a tiempo, y la pista quedaba salpicada de alas cortadas.

Caminamos hasta alcanzar un grupo de cabañas para turistas. El área en la que habíamos entrado era famosa entre los observadores de aves, y sólo con andar por la pista vimos todo un arcoíris de especies: tangaras doradas del color de los ranúnculos, tangaras azulejas del color del aciano y tangaras cabeciazules, que son como un destello de un cegador turquesa. También vimos una tangara picoplata, de vientre rojo chillón, y una bandada de gallitos de las rocas, famosos por sus llamativas plumas escarlata. Los machos de los gallitos de las rocas tienen una cresta en forma de disco sobre la cabeza y emiten una llamada áspera que los hace parecer dementes.

En distintos momentos de la historia, los organismos que ahora están restringidos a los trópicos tenían áreas de distribución mucho más amplias. A mediados del Cretácico, por ejemplo, que duró desde hace unos 120 a 90 millones de años, los árboles del pan florecieron incluso en el golfo de Alaska. En el Eoceno temprano, hace unos 50 millones de años, crecían palmeras en la Antártida, y los cocodrilos chapoteaban en los mares someros que rodeaban a Inglaterra. No hay razón para suponer, en abstracto, que un mundo más cálido haya de ser menos diverso que un mundo frío; por el contrario, varias de las explicaciones posibles del «gradiente latitudinal de diversidad» sugieren que, a largo plazo, un mundo más cálido podría ser más diverso. Sin embargo, a corto plazo, es decir, a un escala de tiempo relevante para los humanos, las cosas tienen otra pinta.

Prácticamente todas las especies que vemos hoy a nuestro alrededor pueden considerarse adaptadas al frío. Las tangaras doradas y los gallitos de las rocas, por no mencionar las urracas, los cardenales o las golondrinas, todos sobrevivieron a la última glaciación. Ellos o algún pariente cercano también sobrevivió a las edades de hielo que la precedieron durante los últimos 2,5 millones de años. En la mayor parte del Pleistoceno, las temperaturas fueron significativamente más bajas que en la actualidad (tal es el ritmo del ciclo orbital que los periodos glaciares tienden a durar mucho más que los interglaciares), de manera que ha sido evolutivamente ventajoso ser capaz de soportar unas condiciones invernales. En cambio, durante 2,5 millones de años, ser capaz de soportar más calor no ha supuesto ninguna ventaja, puesto que las temperaturas nunca fueron mucho más altas que en la actualidad. Entre los altos y bajos del Pleistoceno, ahora estamos en un alto.

Para encontrar niveles de dióxido de carbono (y, por tanto, temperaturas globales) más altos que los actuales tenemos que remontarnos muy atrás, tal vez hasta el Mioceno medio, hace 15 millones de años.[17] Es bastante probable que hacia el final de nuestro siglo, los índices de $CO_2$ alcancen un nivel desconocido desde que había palmeras en la Antártida del Eoceno, hace unos 50 millones de años. En este momento es imposible decir si las especies todavía poseerán las características que permitieron a sus antepasados prosperar en aquel antiguo mundo cálido.

«Para que las plantas puedan tolerar temperaturas más altas, hay todo tipo de cosas que pueden hacer», me explicó Silman. «Podrían sintetizar proteínas especiales. Podrían estimular su metabolismos, cosas por el estilo. Pero la tolerancia térmica es costosa. Y hace millones de años que no se ven temperaturas como las que se predicen. Así que la pregunta es: ¿han retenido las plantas y los animales

durante ese larguísimo intervalo de tiempo —durante el cual han ido y venido radiaciones enteras de mamíferos—, han retenido esas características potencialmente costosas? Si lo han hecho, quizá nos llevemos una agradable sorpresa». Pero ¿y si no? ¿Y si han perdido esas costosas características porque durante tantos millones de años no les han reportado ninguna ventaja?

«Si la evolución trabaja como suele —dijo Silman—, el escenario de la extinción (no la llamamos extinción, hablamos de “desgaste biótico”, un bonito eufemismo), bueno, comienza a parecerse a un apocalipsis.»

## 9

# Islas en tierra seca

*Eciton burchellii*

La BR-174 discurre desde la ciudad de Manaus, en el estado brasileño de Amazonas, más o menos en dirección norte hacia la frontera con Venezuela. La carretera solía estar bordeada por los restos de coches que habían patinado a uno y otro lado, pero desde que la asfaltaron, hace unos veinte años, es más fácil conducir por ella, y ahora en lugar de carrocerías quemadas se encuentra algún que otro café que da servicio a los viajeros. Al cabo de una hora, más o menos, los cafés se rinden, y una hora más tarde hay un desvío a una carretera de un solo carril, la ZF-3, que se dirige al este. La ZF-3 todavía no está asfaltada y, a causa del color de la tierra en el Amazonas, parece un tajo de vivo naranja que hiende el paisaje. Si se sigue la ZF-3 durante unos tres cuartos de hora se llega a un acceso de madera cerrado con una cadena. Al otro lado del acceso, hay unas pocas vacas soñolientas, y después de las vacas se llega a la llamada Reserva 1202.

La Reserva 1202 puede concebirse como una isla en medio del Amazonas. Llegué allí un día tórrido y sin nubes en mitad de la estación lluviosa. A sólo cinco metros en el interior de la reserva, el follaje era tan denso que incluso con el sol justo encima la luz era caliginosa, como en una catedral. Desde un árbol cercano llegó un chillido agudo que me hizo pensar en el pito de un policía. Según me

dijeron, se trataba de la llamada de un pequeño y humilde pájaro conocido como piha gritona. La piha chilló de nuevo, luego se calló.

A diferencia de una isla natural, la Reserva 1202 es un cuadrado casi perfecto. Son diez hectáreas de selva tropical intacta rodeados de un «mar» de maleza. En las fotos aéreas aparece como una balsa verde flotando sobre olas pardas.

La Reserva 1202 forma parte de todo un archipiélago de islas amazónicas, todas ellas con nombres igualmente clínicos: Reserva 1112, Reserva 1301, Reserva 2107. Algunas de las reservas tienen incluso menos de diez hectáreas; otras son algo mayores. Colectivamente, representan uno de los mayores y más largos experimentos del mundo, el Proyecto de Dinámica Biológica de Fragmentos Forestales o PDBFF. Prácticamente cada metro cuadrado del PDBFF ha sido estudiado por alguien: un botánico que etiqueta árboles, un ornitólogo que anilla pájaros, un entomólogo que hace recuentos de moscas del vinagre. Cuando visité la Reserva 1202, me encontré con un estudiante de doctorado de Portugal que estaba contando murciélagos. Al mediodía se acababa de levantar y comía un plato de pasta en una choza que servía de estación de investigación y, cuando hacía falta, de cocina. Mientras hablábamos, un escuálido vaquero pasó a lomos de un caballo un poco menos delgado. Llevaba un rifle colgado del hombro. No estaba seguro de si había venido porque había oído la camioneta en la que había llegado y quería proteger al estudiante de posibles intrusos, o porque de algún modo había percibido que había pasta.

El PDBFF es el resultado de una improbable colaboración entre ganaderos y conservacionistas. En los años setenta, el gobierno brasileño decidió animar a los rancheros a establecerse al norte de Manaus, un área que

permanecía prácticamente deshabitada. El programa se convirtió en una deforestación subvencionada: los rancheros que accedían a mudarse a la selva, talar los árboles y criar vacas recibían un salario del gobierno. Al mismo tiempo, de acuerdo con la legislación brasileña, los terratenientes del Amazonas tenían que dejar intacta al menos la mitad del área forestal de sus tierras. La tensión entre estas dos normativas le dio una idea a un biólogo americano llamado Tom Lovejoy. ¿Y si se pudiera convencer a los rancheros para que permitieran que los científicos decidieran qué árboles cortar y cuáles dejar en pie? «La idea en realidad no era más que una frase», me dijo Lovejoy. «Me pregunté si se podría persuadir a los brasileños para disponer aquel 50% de tal manera que realizáramos un experimento gigantesco». En ese caso, sería posible estudiar de una forma controlada un proceso que se estaba produciendo de manera descontrolada por todos los trópicos, por todo el mundo incluso.



Fragmentos de bosque al norte de Manaus, vistos desde el aire. Proyecto de Dinámica Biológica de Fragmentos Forestales.

Lovejoy voló hasta Manaus y presentó su plan a miembros del gobierno de Brasil. Sorprendentemente, lo aceptaron. Hoy el proyecto lleva más de treinta años funcionando sin interrupciones. Son tantos los estudiantes de doctorado que se han formado en las reservas que se ha acuñado una nueva palabra para describirlos: «fragmentólogo».[1] Por su parte, el PDBFF ha sifo calificado como «el experimento ecológico más importante jamás realizado».[2]

En la actualidad hay en el planeta alrededor de 130 millones de $km^2$ de tierra emergida no cubierta por hielos, y ésta es la línea de referencia que suele utilizarse para calcular los impactos humanos. Según un estudio reciente publicado por la Sociedad Geológica Americana, los humanos hemos «transformado directamente» más de la mitad de esa tierra, aproximadamente 70 millones de $km^2$, sobre todo convirtiéndola en tierra de cultivo o pastos, pero también para construir ciudades y centros comerciales y embalses, o para explotaciones madereras, minas o canteras.[3] De los 60 millones de $km^2$ restantes, alrededor de tres quintas partes están cubiertas por bosque (en palabras de los autores, «natural pero no necesariamente virgen») y el resto es tundra, desierto o alta montaña. Según otro estudio reciente publicado por la Sociedad Ecológica Americana, esas cifras dramáticas todavía subestiman nuestro impacto.[4] Los autores del segundo estudio, Erle Ellis de la Universidad de Maryland y Navin Ramankutty de McGill, argumentan que pensar en términos de biomas definidos por el clima y la vegetación (praderas templadas, por ejemplo, o bosques boreales) ya no tiene

sentido. En su lugar, dividen el mundo en «antromas». Hay un antroma «urbano» que se extiende sobre 1,3 millones de km$^2$, un antroma de «agricultura de regadío» (2,5 millones de km$^2$) y un antroma de «bosque poblado» (12 millones de km$^2$) Ellis y Ramankutty cuentan un total de 18 «antromas» que, en conjunto, se extienden sobre 100 millones de km$^2$. Eso deja un resto de unos 30 millones de km$^2$. A estas áreas, que están prácticamente deshabitadas e incluyen partes del Amazonas, buena parte de Siberia y el norte de Canadá, y extensiones considerables de los desiertos de Sahara, Gobi y Gran Victoria, le dan el nombre de «tierras salvajes».

Pero en el Antropoceno no está claro siquiera que esas «tierras salvajes» realmente merezcan el apelativo de salvajes. La tundra está cruzada por gasoductos y oleoductos, el bosque boreal por líneas sísmicas. La selva tropical está hendida por ranchos y plantaciones y proyectos hidroeléctricos. En Brasil, la gente habla de la «espina de pescado», una pauta de deforestación que comienza con la construcción de una carretera principal (en la metáfora, la raspa central) que luego lleva a la creación (a veces ilegal) de muchas otras pistas menores, a modo de espinas. Lo que queda es un bosque formado por manchas largas y delgadas. En nuestros días, todo lugar salvaje, en mayor o menor grado, ha sido cortado o desgajado. Y por eso es tan importante el experimento de Lovejoy con los fragmentos de bosque. Con su forma cuadrada, totalmente innatural, la Reserva 1202 representa, cada vez más, la forma de nuestro mundo.

El personal que investiga en el PDBFF cambia constantemente, de manera que incluso personas que llevan muchos años trabajando en el proyecto nunca saben

a quién se van a encontrar allí. Llegué a la Reserva 1202 en compañía de Mario Cohn-Haft, un ornitólogo americano que comenzó a involucrarse en el proyecto como interno a mediados de la década de 1980. Cohn-Haft acabó casándose con una brasileña y ahora trabaja para el Instituto Nacional de Investigaciones de la Amazonia en Manaus. Es alto y delgado, con el escaso cabello gris y los ojos marrones y tristes. El afecto y entusiasmo que Miles Silman brinda a los árboles tropicales, Cohn-Haft lo reserva para las aves. En cierto momento le pregunté cuántas especies de aves amazónicas podía identificar por el canto, y me miró perplejo, como si no entendiera adónde quería llegar. Cuando le formulé de nuevo la pregunta, la respuesta resultó ser todas. Según el recuento oficial, en el Amazonas viven unas trescientas especies de aves, pero Cohn-Haft cree que en realidad hay muchas más, porque nos hemos fiado demasiado de caracteres como el tamaño o el plumaje y no hemos prestado suficiente atención al sonido. Según me dijo, aves de aspecto más o menos idéntico pero que producen cantos distintos suelen resultar ser genéticamente diferentes. En el momento de nuestro viaje, Cohn-Haft estaba preparando la publicación de un artículo en el que identificaba varias especies nuevas que había descubierto mediante una escucha rigurosa. Una de ellas, un ave nocturna de la familia de los urutaúes (los nictibios), emite un inolvidable canto triste que la gente del lugar a menudo atribuye al *curupira*, una figura del folclore brasileño. El *curupira* tiene el rostro aniñado, el pelo copioso y los pies invertidos. Ataca a los furtivos y a cualquiera que coja demasiado del bosque.

Como la mejor hora para escuchar a las aves es el amanecer, Cohn-Haft y yo partimos hacia la Reserva 1202 en la oscuridad, poco después de las cuatro de la madrugada. Nuestra primera parada por el camino fue una

torre de metal construida para sostener una estación meteorológica. Desde lo alto de la torre, que asciende hasta unos cuarenta metros y está en un avanzado estado de oxidación, se disfrutaba de una vista panorámica por encima del dosel arbóreo. Cohn-Haft había traído un potente telescopio que colocó sobre un trípode. También había traído un iPod y un altavoz en miniatura que cabía en su bolsillo. El iPod contenía las grabaciones de cientos de cantos, y algunas veces, cuando oía un pájaro que no conseguía localizar, reproducía su canto con la esperanza de que se dejara ver.

«Al cabo del día igual oyes ciento cincuenta especies de aves pero sólo ves diez», me dijo. De vez en cuando se apreciaba un destello de color entre el follaje verde, y de este modo logré vislumbrar lo que Cohn-Haft identificó como un carpintero azulado, un titira colinegro y una catita alidorada. Apuntó con el telescopio a una mancha azul y resultó ser el pájaro más hermoso que he visto nunca: un mielerito patirrojo de pecho color zafiro, patas escarlata y coronilla de brillante aguamarina.

Cuando el sol subió y los cantos se hicieron menos frecuentes, volvimos a partir. Para cuando el día ya era como un horno y los dos chorreábamos sudor, alcanzamos el acceso con cadena que marca la entrada a la Reserva 1202. Cohn-Haft escogió una de las sendas que se han practicado en la reserva para facilitar el tránsito, y marchamos hasta lo que nos pareció que debía ser el centro del cuadrado. Se paró a escuchar, pero no había mucho que oír.

«Ahora mismo estoy oyendo solamente dos especies de ave», me dijo. «Una de ellas suena como si estuviera diciendo “Vaya, parece que va a llover”, y ésa es la paloma plomiza. La otra suena algo así como “chúdel, chúdel, pip”.» Hizo un sonido como un flautista realizando ejercicios de

calentamiento. «Y ése es el vireón cejirrufo. Es una especie típica de bosque secundario o de margen que no debería oírse en un bosque primario.»

Cohn-Haft me explicó que cuando empezó a trabajar en la Reserva 1202 su trabajo consistía en capturar aves, marcarlas y liberarlas, un proceso que se conoce como «anillar y soltar». Cogían las aves en redes que extendían por el bosque desde el suelo hasta una altura de unos dos metros. Realizaron censos de aves antes de que los fragmentos de bosque quedasen aislados y de nuevo después de aislarlos, de modo que se pudieran comparar las cifras. Entre todas las reservas (once en total), Cohn-Haft y sus colegas anillaron casi 25.000 aves.[5]

«El primer resultado que a todos nos sorprendió un poco, aunque sea más bien trivial en el gran esquema de las cosas, fue una suerte de efecto refugio», me dijo, mientras esperábamos a la sombra. «Lo que ocurrió cuando se taló el bosque circundante fue que la tasa de captura, o sea, el número de aves capturadas y a veces también el número de especies, subió durante el primer año.» Al parecer, las aves de las áreas deforestadas buscaron refugio en los fragmentos. Pero gradualmente, con el paso del tiempo, tanto el número como la diversidad de aves en los fragmentos comenzó a disminuir. Y luego ya no dejó de hacerlo.

«En otras palabras —dijo Cohn-Haft—, no se llegó de golpe a este nuevo equilibrio con menos especies. Se produjo una degradación paulatina de la diversidad con el tiempo.» Y lo que ocurrió con las aves, también ocurrió con otros grupos.

Las islas (me refiero ahora a las islas de verdad, no a las «islas» de hábitat) tienden a estar empobrecidas en especies, o, por usar un término más técnico, depauperadas. Es así para las islas volcánicas situadas en medio del océano, pero también, lo cual es más curioso e interesante, para las llamadas islas continentales, que se encuentran cerca de la costa. Los investigadores que han estudiado las islas continentales, que tienen su origen en fluctuaciones del nivel del mar, han encontrado repetidamente que son menos diversas que los continentes de los que en alguna ocasión formaron parte.

¿Por qué es así? ¿Por qué habría de reducirse la diversidad a causa del aislamiento? Para algunas especies, la respuesta parece bastante simple: el trozo de hábitat en el que han quedado varadas es inadecuado. Un felino grande que necesite un área de campeo de 100 $km^2$ no es probable que persista mucho tiempo en un área de tan sólo 50 $km^2$. Una rana diminuta que ponga sus huevos en charcas y se alimente en la ladera necesita tanto la charca como la ladera para poder sobrevivir.

Pero si la falta de hábitat adecuado fuese el único problema, las islas continentales deberían estabilizarse bastante rápido a un nuevo nivel de diversidad, más bajo. No es eso lo que ocurre. No dejan de perder especies, un proceso que se conoce con el sorprendentemente radiante término de «relajación». En algunas islas continentales que fueron creadas por el aumento del nivel del mar al final del Pleistoceno, se estima que el proceso completo de relajación llevó miles de años; en otras, el proceso podría estar todavía en marcha.[6]

Los ecologistas explican la relajación haciendo notar que la vida es aleatoria. Las áreas más pequeñas albergan poblaciones más pequeñas, y unas poblaciones más pequeñas son más vulnerables al azar. Por usar un ejemplo

extremo, una isla podría albergar una sola especie reproductora de la especie X. Un año, el nido de la pareja cae del árbol empujado por el viento de un huracán. Al año siguiente, todos los pollos resultan ser machos, y al siguiente el nido es asaltado por una culebra. La especie X se encuentra ahora al borde de la extinción local. Si la isla albergara dos parejas reproductoras, la probabilidad de que ambas sufrieran tal cadena de mala suerte es menor, y si albergara veinte parejas, muy inferior. Pero una probabilidad baja todavía puede ser letal a largo plazo. El proceso podría compararse con el lanzamiento de una moneda. Es improbable que una moneda salga cara diez veces seguidas las primeras diez (o veinte, o cien) veces que se tira. Sin embargo, si se tira un gran número de veces, es probable que se produzca incluso una secuencia improbable. Las reglas de la probabilidad son tan sólidas que apenas se requiere demostración empírica de los riesgos de un tamaño de población pequeño; no obstante, se dispone de ella. En los años 1950 y 1960, los observadores de aves mantuvieron registros meticulosos de cada pareja que se reprodujo en la isla de Bardsey, en la costa de Gales, desde los gorriones comunes y los ostreros a aves más escasas como los chorlitejos y zarapitos. En los años ochenta, estos registros fueron analizados por Jared Diamond, quien por aquel entonces estaba trabajando como ornitólogo especializado en aves de Nueva Guinea. Diamond encontró que la probabilidad de que una especie concreta hubiera desaparecido de la isla se podía representar sobre una curva cuya pendiente se reducía exponencialmente a medida que aumentaba el número de parejas. Por consiguiente, escribió que el principal predictor de la extinción local era el «tamaño poblacional pequeño».[7]

Naturalmente, las poblaciones pequeñas no están confinadas a las islas. Una charca puede tener una pequeña población de ranas, un prado una pequeña población de topillos. En el curso normal de los acontecimientos, las extinciones locales se producen continuamente. Pero cuando una de estas extinciones se debe a una cadena de mala suerte, es probable que el lugar sea recolonizado por miembros de otras poblaciones más afortunadas que se dispersen desde algún otro lugar. Lo que distingue a las islas (y explica el fenómeno de la relajación) es que la recolonización es muy difícil, en muchos casos prácticamente imposible. (Aunque una isla continental puede sostener una pequeña población residual de tigres, por poner un ejemplo, si esa población desaparece, es difícil que otros tigres lleguen nadando.) Lo mismo se aplica a cualquier otro fragmento de hábitat. Dependiendo de qué rodee el fragmento, las especies pueden o no recolonizarlo si se pierde la población. Los investigadores del PDBFF han descubierto, por ejemplo, que algunas aves, como el saltarín coroniblanco, cruzan sin problemas los claros de las carreteras, mientras que otras, como el hormiguero dorsiescamado, son muy reacias a hacerlo.[8] Si no se produce la recolonización, las extinciones locales pueden hacerse regionales y, con el tiempo, incluso globales.

* * *

A unos 15 kilómetros de la Reserva 1202 la pista de tierra se desvanece y comienza una sección de selva lluviosa que, de acuerdo con los estándares actuales, cuenta como no perturbada. Los investigadores del PDBFF han marcado secciones de este bosque para usarlas como parcelas de control, de modo que puedan comparar lo que ocurre en los fragmentos con lo que ocurre en el bosque continuo. Hacia el final de la carretera hay un pequeño campamento,

conocido como Campamento 41, donde duermen y comen y tratan de escapar de la lluvia. Llegué allí con Cohn-Haft una tarde justo cuando empezaba a llover. Corrimos por la selva, pero en vano; cuando llegamos al Campamento 41 estábamos empapados.

Más tarde, cuando ya había escampado y habíamos estrujado los calcetines, nos alejamos del campamento, adentrándonos en la selva. El cielo todavía estaba encapotado, y la grisura daba al verdor un tinte oscuro y sombrío. Pensé en el *curupira*, acechando desde los árboles con sus pies invertidos.

E. O. Wilson, que visitó el PDBFF en dos ocasiones, escribió tras uno de sus viajes: «La jungla bulle, pero de un modo que en buena parte queda fuera del alcance de los sentidos humanos».[9] Cohn-Haft vino a decirme lo mismo, aunque con menor grandilocuencia; la selva, me dijo, «sale mejor en la tele». Al principio me pareció que nada se movía a nuestro alrededor, pero entonces Cohn-Haft comenzó a señalarme los signos de la vida de los insectos y empecé a ver mucha actividad en, por usar la expresión de Wilson, «el pequeño mundo de abajo». Un insecto palo colgaba de una hoja seca, ondeando sus delicadas patas. Una araña se agazapaba en su tela en forma de aro. Un fálico tubo de fango que se erguía desde el suelo del bosque resultó ser la casa de una larva de cícada. Lo que parecía una monstruosa preñez que sobresalía del tronco de un árbol se reveló como un nido lleno de termitas. Cohn-Haft reconoció una planta llamada melastoma. Le dio la vuelta a una de sus hojas y le dio unos golpecitos en el tallo, que estaba hueco. De él salieron unas pequeñas hormigas negras de un aspecto tan feroz como sólo pueden tener las pequeñas hormigas negras. Según me explicó, las hormigas protegen la planta de otros insectos a cambio de alojamiento gratis.

Cohn-Haft se crio en el oeste de Massachusetts, casualmente no muy lejos de donde yo vivo. «Allí me consideraba un naturalista general», me dijo. Podía nombrar la mayoría de los árboles e insectos que se encontraba en la parte occidental de Nueva Inglaterra, además de todas las aves. Pero en el Amazonas era imposible ser generalista; había demasiadas cosas. En el estudio de las parcelas del PDBFF se han identificado unas 1.400 especies de árboles, más aún que en las parcelas de Silman, a unos 1.600 kilómetros al oeste.

«Estos son ecosistemas megadiversos en los que cada una de las especies está muy muy especializada», me dijo Cohn-Haft. «Y en estos ecosistemas supone una gran ventaja hacer exactamente lo que haces.» Me brindó su propia teoría de por qué la vida en los trópicos es tan variada, que la diversidad tiende a reforzarse a sí misma. «Un corolario natural a la alta diversidad de especies es la baja densidad de población, lo cual es una receta para la especiación: aislamiento por la distancia», me explicó. Pero también es una vulnerabilidad, puesto que las poblaciones pequeñas y aisladas son mucho más susceptibles a la extinción.

El sol comenzaba a descender, y en el bosque ya era crepúsculo. Mientras regresábamos al Campamento 4, encontramos una tropa de hormigas que seguían su propia senda a unos metros de la nuestra. Las hormigas pardo-rojizas se movían más o menos en una línea recta que las llevaba directas a un tronco caído de gran tamaño (sobre todo para ellas). Subían el tronco y luego descendían. Seguí la columna tan lejos como pude en ambas direcciones, pero continuaba sin fin, al estilo de un desfile soviético. La columna, me explicó Cohn-Haft, era una marabunta de hormigas guerreras de la especie *Eciton burchellii*.

Las hormigas guerreras (hay docenas de especies en los trópicos) difieren de la mayoría de las hormigas en que no tienen un nido fijo. Pasan la vida o bien en marcha, cazando insectos, arañas y ocasionalmente alguna lagartija, o bien acampadas en vivaques temporales. (Los vivaques de *Eciton burchellii* están formados por las propias hormigas que se disponen alrededor de la reina al modo de una feroz y urticante bola.) Las hormigas guerreras son célebres por su voracidad; una colonia en marcha puede consumir 30.000 presas (la mayoría larvas de otros insectos) en un solo día. Pero su propia voracidad sirve a otras especies. Hay toda una clase de aves conocidas como seguidoras obligadas de hormigas. Éstas se encuentran casi siempre alrededor de las marabuntas, comiendo insectos que las hormigas ahuyentan de sus escondrijos bajo las hojas del suelo. Otras aves son seguidoras oportunistas de hormigas y sólo picotean alrededor de las hormigas cuando por casualidad topan con ellas. Tras las aves seguidoras de hormigas va toda una variedad de organismos que también son expertos en «hacer exactamente lo que hacen». Hay mariposas que se alimentan de los excrementos de las aves y moscas parásitas que depositan a sus jóvenes sobre sorprendidos grillos o cucarachas.[10] Diversas especies de ácaros viajan a lomos de las propias hormigas; una especie se asegura a las patas de la hormiga, otra a sus mandíbulas. Una pareja de naturalistas americanos, Carl y Marian Rettenmeyer, que pasaron más de medio siglo estudiando a *Eciton burchellii*, elaboraron una lista de más de 300 especies que viven asociadas a las hormigas.[11]



Una hormiga guerrera de la especie *Eciton burchellii*. © Konrad Wothe/Minden Pictures.

Cohn-Haft ya no oía cantar a ningún ave y se estaba haciendo tarde, de modo que regresamos al campamento. Acordamos volver al mismo lugar al día siguiente para presenciar la procesión de hormigas, aves y mariposas.

A finales de los años setenta, un entomólogo llamado Terry Erwin trabajaba en Panamá cuando alguien le preguntó cuántas especies de insectos creía que se podían encontrar en una hectárea de selva tropical. Hasta aquel momento, Erwin se había dedicado fundamentalmente a contar escarabajos. Rociaba las copas de los árboles con un insecticida y luego recogía los cuerpos que caían desde las hojas en una lluvia quebradiza. Intrigado por la cuestión más amplia de cuántas especies de insectos había en los trópicos en conjunto, pensó en cómo extrapolar a partir de su propia experiencia. De una sola especie de árbol, *Luehea seemannii*, había recogido escarabajos de más de 950 especies. Suponiendo que alrededor de una quinta parte de estos escarabajos dependían de *Luehea seemannii*, que los

otros escarabajos dependían de igual modo de otros árboles, que los escarabajos representan alrededor de un 40% de las especies de insectos y que hay aproximadamente 50.000 especies de árboles tropicales, Erwin estimó que los trópicos albergaban hasta 30 millones de especies de artrópodos.[12] (Además de los insectos, este grupo incluye las arañas y los ciempiés.) Se confesó «conmocionado» por su propia conclusión.

Desde entonces se han hecho muchos esfuerzos por afinar las estimaciones de Erwin. La mayoría han tendido a revisar la cifra a la baja. (Entre otras cosas, Erwin probablemente sobrestimó la proporción de insectos que dependen de una sola planta hospedadora.) Aun así, se mire como se mire, la cifra sigue siendo sorprendentemente elevada: las estimaciones recientes sugieren que hay al menos dos millones de especies de insectos tropicales, tal vez hasta siete millones.[13] En comparación, apenas hay 10.000 especies de aves en todo el mundo y sólo 5.500 especies de mamíferos. Así pues, por cada especie con pelo y glándulas mamarias hay, sólo en los trópicos, al menos 300 con antenas y ojos compuestos.

La riqueza de su fauna de insectos implica que cualquier amenaza para los trópicos se traduce en un número muy elevado de víctimas potenciales. Consideremos el siguiente cálculo. La deforestación tropical es notoriamente difícil de medir, pero supongamos que los bosques se talan a un ritmo del 1% anual. Usando la relación especiesárea, $S = cAz$, y fijando el valor de $z$ en 0,25, podemos calcular que la pérdida de un 1% del área original supone la pérdida de aproximadamente una cuarta parte de un 1% de las especies originales. Si suponemos, siendo muy conservadores, que hay dos millones de especies en las selvas tropicales, esto significa la pérdida

anual de unas 5.000 especies, lo que se traduce en aproximadamente catorce especies al día, o una cada cien minutos.

Exactamente este cálculo fue realizado por E. O. Wilson a finales de los años ochenta, no mucho después de uno de sus viajes al PDBFF.[14] Wilson publicó sus resultados en *Scientific American*, y a partir de ello llegó a la conclusión de que la actual tasa de extinción era «del orden de 10.000 veces más alta que la tasa natural de fondo». Esto, prosiguió, «está reduciendo la diversidad biológica a su nivel más bajo» desde la extinción de finales del Cretácico, un evento que, según observaba, si bien no había sido la peor extinción en masa de la historia, era «con mucho la más famosa, porque había puesto fin a la era de los dinosaurios, conferido hegemonía a los mamíferos y, en última instancia, para bien o para mal, había hecho posible el origen de nuestra propia especie».

Como los de Erwin, los cálculos de Wilson resultaban sorprendentes. También eran fáciles de comprender, o al menos de repetir, y recibieron mucha atención, no sólo en el relativamente pequeño mundo de los biólogos tropicales sino también en los medios de comunicación generales. «Apenas pasa un día sin que alguien nos diga que la deforestación tropical está extinguiendo aproximadamente una especie por hora, o quizá una por minuto», se lamentaba una pareja de ecólogos británicos.[15] Veinticinco años más tarde, se acepta generalmente que las cifras de Wilson (igual que las de Erwin) no se ajustan a las observaciones, un hecho que debería ser aleccionador para los divulgadores de la ciencia tal vez más que para los científicos. Las razones de ello se siguen debatiendo.

Una explicación posible es que la extinción lleva tiempo. Los cálculos de Wilson suponen que una vez deforestada un área, las especies desaparecen de forma más o menos

inmediata. Pero puede pasar bastante tiempo antes de que un bosque se «relaje» del todo, e incluso pequeñas poblaciones remanentes pueden persistir durante mucho tiempo, dependiendo de cómo caigan los dados de la supervivencia. La diferencia entre el número de especies que han quedado condenadas por algún tipo de cambio ambiental y el número de las que realmente han desaparecido se suele denominar «deuda de extinción», un término que implica una demora en el proceso, igual que hay una demora cuando se compra a crédito.

Otra explicación posible es que el hábitat que se pierde por deforestación no se pierde realmente. Los bosques talados para extraer la madera o quemados para convertirlos en pastos pueden volver a crecer. Irónicamente, una buena ilustración de esto nos llega desde el área que rodea el PDBFF. Poco después de que Lovejoy convenciera a los agentes del gobierno brasileño para que respaldaran el proyecto, el país sufrió un paralizadora crisis de deuda, y en 1990 la tasa de inflación alcanzaba el 30.000%. El gobierno canceló los subsidios que había prometido a los rancheros, y miles de hectáreas fueron abandonadas. Alrededor de algunos de los fragmentos del PDBFF volvieron a crecer los árboles con tal vigor que las parcelas habrían quedado engullidas si Lovejoy no hubiera dispuesto que se volvieran a aislar talando o quemando el crecimiento secundario. Aunque el bosque primario prosigue su declive en el trópico, en algunas regiones el bosque secundario está en aumento.

Otra explicación posible de por qué las observaciones no se ajustan a las predicciones es que los humanos no somos muy observadores. Como la mayoría de especies de los trópicos son insectos y otros invertebrados, también la mayoría de las extinciones previstas están en estos grupos. Pero como no sabemos, ni a la resolución de un millón de

años, cuántas especies hay de insectos tropicales, es poco probable que vayamos a notar la desaparición de una o dos o incluso 10.000 especies. Un informe reciente de la Sociedad Zoológica de Londres hace notar que «se conoce el estado de conservación de menos del 1% de todos los invertebrados descritos», y la gran mayoría de los invertebrados probablemente ni siquiera se hayan descrito.[16] Tal como dice Wilson, los invertebrados podrían ser «las pequeñas cosas que hacen que el mundo funcione», pero las cosas pequeñas son fáciles de pasar por alto.

Para cuando Cohn-Haft y yo volvimos al Campamento 41, ya habían llegado varias personas más, entre ellas la esposa de Cohn-Haft, Rita Mesquita, que es ecóloga, y Tom Lovejoy, que estaba en Manaus para asistir a la reunión de un grupo llamado Fundación para un Amazonas Sostenible. A Lovejoy, que cuenta setenta y pocos años, se le suele atribuir la introducción del término «diversidad biológica» en el lenguaje común y la concepción de la idea del «canje de deuda por naturaleza». A lo largo de los años, ha trabajado para la Fundación de las Naciones Unidas y el Banco Mundial, y en buena parte gracias a sus esfuerzos alrededor de la mitad de la selva amazónica se encuentra hoy en día bajo alguna forma de protección legal. Lovejoy es una de esas raras personas que se sienten igualmente cómodas sudando en la selva y testificando en el Congreso. Siempre está buscando el modo de recabar apoyos para la conservación del Amazonas, y mientras estábamos sentados en corro aquella noche me dijo que en una ocasión había traído a Tom Cruise al Campamento 41. Cruise, me dijo, parecía haber pasado un buen rato, pero al final no se habia adherido a la causa.

Hasta hoy se han escrito más de quinientos artículos y varios libros científicos sobre el PDBFF. Cuando le pedí a Lovejoy que me resumiera lo que se había aprendido gracias al proyecto, me contestó que había que ser cautos a la hora de extrapolar de una parte al todo. Por ejemplo, trabajos recientes habían puesto de manifiesto que los cambios en los usos del territorio en el Amazonas también afectan a la circulación atmosférica. Eso significa que, a una escala lo bastante grande, la destrucción de la selva tropical podría tener como resultado no sólo la desaparición del bosque, sino también la desaparición de la lluvia.

«Supongamos que acabamos con un paisaje cortado en fragmentos de cien hectáreas», dijo Lovejoy. «Creo que lo que el proyecto nos ha mostrado es que básicamente habríamos perdido más de la mitad de la fauna y la flora. Pero, claro, ya sabemos que el mundo real siempre es más complicado.»

En efecto, la mayoría de los hallazgos del PDBFF han sido variaciones sobre el tema de la pérdida. En el área del proyecto se pueden encontrar seis especies de primates. Tres de ellas (el mono araña negro, el mono maicero y el sakí barbudo) no están en los fragmentos. Aves como el trepatroncos colilargo y el trepamusgo olivo, que se desplazan en bandadas de especies mixtas, prácticamente han desaparecido de los fragmentos más pequeños y se encuentran con una abundancia muy inferior en los grandes. Las ranas que se reproducen en las charcas donde se revuelcan los pecaríes desaparecieron al mismo tiempo que los pecaríes que producían las charcas. Muchas especies, sensibles incluso a leves cambios de luz y calor, han disminuido en abundancia hacia los márgenes de los fragmentos, a pesar de que el número de mariposas, a las que gusta la luz, haya aumentado.

Por otro lado, aunque caiga un poco fuera del ámbito del PDBFF, se produce una infeliz sinergia entre la fragmentación y el calentamiento global, igual que entre el calentamiento global y la acidificación de los océanos, o entre el calentamiento global y las especies invasoras, o entre las especies invasoras y la fragmentación. Una especie que necesita migrar para mantenerse a la par de las temperaturas que aumentan pero está atrapada en un fragmento de bosque, aunque sea un fragmento grande, es poco probable que sobreviva. Una de las características definitorias del Antropoceno es que los cambios que se producen en el mundo empujan a las especies a desplazarse, al tiempo que se crean barreras (carreteras, talas rasas, ciudades) que se lo impiden.

«La nueva capa que se superpone a todo lo que tomaba en consideración en los años setenta es el cambio climático», me dijo Lovejoy, quien también ha escrito que «ante el cambio climático, aunque fuera un cambio climático natural, la actividad humana ha creado una carrera de obstáculos para la dispersión de la biodiversidad», el resultado de la cual podría ser «una de las mayores crisis bióticas de todos los tiempos».[17]

Aquella noche todos fuimos a dormir temprano. Tras lo que me parecieron unos pocos minutos pero podrían haber sido varias horas, me despertó el estruendo más extraordinario. El ruido parecía venir de ningún sitio y de todos. Subía *in crescendo*, luego bajaba y entonces, justo cuando empezaba a conciliar el sueño, volvía a empezar. Sabía que era la llamada de apareamiento de alguna rana, así que salí de mi hamaca y cogí una linterna para echar un vistazo. No logré hallar la fuente del ruido, pero me encontré un insecto con una banda bioluminiscente que habría guardado en un tarro, si lo hubiera tenido. A la mañana siguiente, Cohn-Haft me señaló una pareja de

ranas de casco comunes abrazadas en amplexo. Eran de un color pardo anaranjado, con el rostro como una pala. El macho, sujeto a la espalda de la hembra, era la mitad de grande. Recordé haber leído que los anfibios del bajo Amazonas, al menos hasta el momento, parecen haber escapado en su mayoría del hongo quitridio. Cohn-Haft, a quien, como a todos los demás, la escandalera le había mantenido despierto, describió el canto de la rana como un «prolongado gemido que explota en un rugido y acaba en una risa ahogada».

Tras varias tazas de café, salimos a presenciar el desfile de hormigas. Lovejoy había planeado acompañarnos, pero cuando fue a ponerse una camisa de manga larga, una araña que había hecho en ella su casa le mordió en la mano. La araña parecía bastante corriente, pero la mordedura se estaba tornando de un rojo ardiente, y la mano de Lovejoy comenzaba a perder sensibilidad. Se decidió que debía quedarse en el campamento.

«El método ideal es dejar que las hormigas se acerquen y te rodeen», me explicaba Cohn-Haft mientras caminábamos. «Entonces no hay salida; es como meterse en un callejón sin salida. Las hormigas te suben encima y te muerden la ropa. Estás en medio de la acción.» En la distancia, oímos un hormiguero gorgirrufo que emitía un ruido entre un piar y un graznar. Tal como sugiere el nombre, los hormigueros gorgirrufos son aves seguidoras de hormigas obligadas, así que Cohn-Haft tomó esto como una señal prometedora. Sin embargo, unos pocos minutos más tarde, cuando llegamos al lugar donde habíamos visto su inacabable columna el día anterior, no pudimos encontrar las hormigas por ningún lado. Cohn-Haft oyó la llamada de otro par de pájaros hormigueros que cantaban desde los árboles: un hormiguero cuerniblanco, que emite

un especie de silbido agudo, y un trepatroncos barbiblanco, que tiene un piar alegre. También ellos parecían estar buscando las hormigas.

«Están tan confundidas como nosotros», dijo Cohn-Haft. Aventuró que las hormigas habían abandonado el vivaque de su fase nómada y habían pasado a lo que se conoce como su fase estacionaria. Durante esta fase, las hormigas se quedan más o menos en un mismo lugar para criar una nueva generación. La fase estacionaria puede durar hasta tres semanas, lo que ayuda a explicar uno de los descubrimientos más desconcertantes del PDBFF: incluso los fragmentos de bosque que son lo bastante grandes para sostener colonias de hormigas guerreras acaban perdiendo las aves hormigueras. Las aves que son seguidoras de hormigas obligadas necesitan tener hormigas nómadas a las que seguir y, al parecer, en los fragmentos no hay bastantes colonias como para garantizar que siempre haya alguna activa. Había aquí, me dijo Cohn-Haft, una prueba más de la lógica de la selva lluviosa. Los hormigueros era tan buenos haciendo «exactamente lo que hacían» que eran extremadamente sensibles a cualquier cambio que haga más difícil su particular forma de hacer.



Un hormiguero cuerniblanco (*Pithys albifrons*). © Philip C. Stouffer.

«Cuando encuentras algo que depende de algo más, que a su vez depende de algo más, la serie entera de interacciones depende de la constancia», dijo. Pensé en ello mientras caminábamos con esfuerzo hasta el campamento. Si Cohn-Haft tenía razón, entonces en su loca y circense complejidad el desfile de las hormigas guerreras era en realidad una metáfora de la estabilidad de la Amazonia. Sólo en un lugar donde las reglas del juego permanecen fijas hay tiempo para que las mariposas evolucionen y se alimenten de los excrementos de unas aves que evolucionaron para seguir hormigas. Sí, estaba decepcionada por no haber encontrado las hormigas. Pero me figuré que más lo estarían las aves.

# 10

# La nueva Pangea

*Myotis lucifugus*

El mejor momento para hacer un censo de murciélagos es en lo más crudo del invierno. Los murciélagos son «hibernantes verdaderos»; cuando baja el mercurio, comienzan a buscar un lugar donde asentarse, o más bien colgarse, puesto que los murciélagos hibernan colgados de los pies. En el noreste de Estados Unidos, los primeros murciélagos que entran en hibernación suelen ser los murciélagos café pequeños. Entre finales de octubre y principios de noviembre buscan un espacio resguardado, como una cueva o el túnel de una mina, en el que parezca que las condiciones hayan de permanecer estables. A los murciélagos café pequeños no tardan en unírseles los tricolor y luego los morenos y los de patas pequeñas. Durante la hibernación, la temperatura corporal de un murciélago cae entre 28 y 33 grados, a menudo casi hasta la temperatura de congelación. Su ritmo cardiaco se reduce, su sistema inmunitario se cierra, y el murciélago, colgado de los pies, cae en un estado cercano a la animación suspendida. El recuento de murciélagos hibernantes requiere un cuello fuerte, una buena linterna y un buen par de calcetines calientes.

En marzo de 2007, varios biólogos de la vida silvestre de Albany, en Nueva York, fueron a realizar un censo de murciélagos en una cueva justo al oeste de la ciudad. Era

un acontecimiento rutinario, tanto que su supervisor, Al Hicks, se quedó en el despacho. Pero en cuanto llegaron a la cueva, los biólogos sacaron sus teléfonos móviles.

«Me dijeron: “Mierda, hay murciélagos muertos por todos lados”», recordaría más tarde Hicks, que trabaja para el Departamento de Conservación Medioambiental del estado de Nueva York. Hicks pidió a los biólogos que llevasen varios cadáveres a las oficinas. También les pidió que fotografiaran cualquier murciélago vivo que pudieran encontrar. Cuando Hicks examinó las fotos, observó que parecía que hubieran metido polvos de talco por el morro a los animales. Nunca había visto nada igual, de modo que empezó a enviar correos electrónicos con las fotografías a todos los especialistas en murciélagos que conocía. Ninguno había visto tampoco algo parecido. Algunos de los homólogos de Hicks en otros estados se lo tomaron a broma. Querían saber qué habían estado esnifando aquellos murciélagos de Nueva York.

Llegó la primavera. Por todo Nueva York y Nueva Inglaterra, los murciélagos se despertaron de su torpor y comenzaron a volar. El polvo blanco seguía siendo un misterio. «Andábamos pensando, ojalá esto desaparezca solo.» Pero en lugar de eso, se extendió. Al invierno siguiente, la misma sustancia con aspecto de polvo blanco se encontró en murciélagos de 33 cuevas en cuatro estados distintos. Los murciélagos no paraban de morir. En algunos hibernáculos, las poblaciones descendieron en más del 90%. En una cueva de Vermont, miles de cadáveres cayeron del techo y quedaron apilados en el suelo, como ventisqueros.



Un murciélago café pequeño (*Myotis lucifugus*) afectado por el síndrome de la nariz blanca. U.S. Fish and Wildlife Service/Science Source.

La mortandad de murciélagos continuó el invierno siguiente en tres estados más, y aunque en muchos lugares apenas quedan murciélagos que puedan morir, la mortandad todavía sigue. Hoy sabemos que el polvo blanco es un hongo que prefiere las bajas temperaturas (lo que técnicamente se conoce como psicrófilo) que fue importado accidentalmente a Estados Unidos, probablemente desde Europa. Cuando se aisló por primera vez, el hongo, del género *Geomyces*, no tenía nombre. Por sus efectos sobre los murciélagos, hoy lo conocemos como *Geomyces destructans*.*

Sin la ayuda de los humanos, los viajes a larga distancia son difíciles para la mayoría de las especies, casi imposibles. Para Darwin, este hecho era central. Su teoría de la descendencia con modificaciones exigía que cada especie surgiera en un único lugar de origen. Para extenderse desde allí, tenía que reptar o nadar o zanquear o arrastrarse o esparcir sus semillas con el viento. Darwin creía que, con el tiempo suficiente, incluso un organismo sedentario como un hongo, por ejemplo, podía acabar dispersándose muy ampliamente. Pero eran los límites a la dispersión lo que creaba situaciones interesantes, las que explicaban la riqueza de la vida y, al mismo tiempo, las pautas que podían discernirse en medio de la variedad. Las barreras que imponían los océanos, por ejemplo, explicaban por qué grandes extensiones de América del Sur, África y Australia, aunque «completamente semejantes» en clima y topografía, en palabras de Darwin, estaban pobladas por una flora y fauna completamente *de*semejantes. Los organismos de cada continente evolucionaron separadamente y, de este modo, el aislamiento físico se había transmutado en disparidad biológica. De forma parecida, las barreras impuestas por la tierra explicaban por qué los peces del Pacífico oriental eran distintos de los peces del Caribe occidental, aunque, en palabras de Darwin, estos dos grupos estaban «separados sólo por el estrecho e intransitable istmo de Panamá». A un nivel más local, las especies que se encuentran a un lado de una cordillera o un río importante a menudo eran diferentes de las que se hallaban en el otro lado, aunque con frecuencia (y significativamente) estaban emparentadas. Así, por ejemplo, Darwin observó que «Las llanuras próximas al estrecho de Magallanes están habitadas por una especie de *Rhea* (ñandú), y, al norte, las llanuras de La Plata por otra

especie del mismo género, y no por un verdadero avestruz o un emú como los que viven en África y Australia a la misma latitud».

Los límites a la dispersión también preocuparon a Darwin en otro sentido, éste más difícil de explicar. Tal como había visto de primera mano, incluso remotas islas volcánicas, como las Galápagos, estaban llenas de vida. De hecho, las islas albergaban algunos de los organismos más prodigiosos de la Tierra. Para que su teoría de la evolución fuese correcta, estos organismos tenían que ser descendientes de colonizadores. Pero ¿cómo habían llegado allí los primeros colonizadores? En el caso de las Galápagos, 500 millas de mar abierto separaban el archipiélago de la costa de América del Sur. Tan acongojado estaba Darwin por este problema que pasó más de un año intentando replicar las condiciones que se dan al cruzar el océano en su jardín de su casa en Kent. Recogió semillas y las sumergió en tanques de agua salada. Cada pocos días, extraía unas pocas y las plantaba. Este ejercicio resultó ser largo y tedioso, pues, escribió a un amigo, «hallo que debo cambiar el agua cada dos días, de lo contrario, hiede terriblemente».[1] Pero los resultados le parecieron prometedores; las semillas de cebada germinaban todavía al cabo de cuatro semanas de inmersión, las de berro tras seis semanas, aunque las semillas «produjeron una sorprendente cantidad de moco».[2] Si una corriente oceánica fluyera a una velocidad de aproximadamente una milla por hora, en seis semanas una semilla podría ser transportada más de 1.000 millas. ¿Y un animal? Aquí los métodos de Darwin se hicieron más barrocos. Seccionó un par de patas de pato y las suspendió en un tanque lleno de crías de caracol. Tras dejar que las patas de pato se empapasen durante un rato, las levantó y permitió que sus hijos contasen cuántas crías habían quedado adheridas.

Darwin halló que los diminutos moluscos podían sobrevivir fuera del agua hasta veinte horas, y durante todo ese tiempo, según calculó, un pato con sus patas en su sitio podría haber recorrido 600 o 700 millas.[3] No era una mera coincidencia, observó, que muchas islas remotas no tuvieran mamíferos autóctonos, salvo los murciélagos, que pueden volar.[4]

Las ideas de Darwin sobre lo que llamaba «distribución geográfica» tuvieron profundas implicaciones, algunas de las cuales no serían reconocidas hasta décadas después de su muerte. A finales del siglo XIX, los paleontólogos comenzaron a catalogar las muchas y curiosas correspondencias que manifestaban los fósiles recogidos en distintos continentes. *Mesosaurus*, por ejemplo, es un delgado reptil con dientes separados que vivió durante el periodo Pérmico. De *Mesosaurus* aparecieron restos tanto en África como, al otro lado de un océano, en América del Sur. *Glossopteris* es un helecho con forma de lengua, también del periodo Pérmico. Sus fósiles pueden encontrarse en África, América del Sur y Australia. Como era difícil de entender que un reptil de gran tamaño pudiera cruzar el Atlántico, o una planta tanto el Atlántico como el Pacífico, se defendió la existencia de unos vastos puentes de tierra que se extendían a lo largo de miles de kilómetros. Por qué habían desaparecido esos puentes y adónde habían ido a parar era algo que nadie sabía; supuestamente, se habían hundido bajo las olas. En los primeros años del siglo XX, al meteorólogo alemán Alfred Wegener se le ocurrió una idea mejor.

«Los continentes deben de haberse movido», escribió. «América del Sur debió de estar al lado de África, formando un bloque único ... Las dos partes deben de haberse ido separando después de manera paulatina a lo largo de un periodo de millones de años, como piezas de un témpano de

hielo quebrado en el agua.»[5] En algún momento, conjeturaba Wegener, todos los continentes actuales debieron de formar un supercontinente gigantesco, Pangea. Naturalmente, la teoría de Wegener de la «deriva continental», muy ridiculizada durante su vida, quedó en buena medida justificada por el descubrimiento de la tectónica de placas.

Una de las características sorprendentes del Antropoceno es el estrago que ha hecho con los principios de la distribución geográfica. Si las autopistas, las talas rasas y las plantaciones de soja crean islas donde no las había, el comercio y el transporte globales hacen justo lo contrario: niegan aun a las islas más remotas su carácter de remotas. El proceso de mezcla de la flora y fauna del mundo, que comenzó lentamente siguiendo las rutas de las primeras migraciones humanas, se ha acelerado en décadas recientes hasta el punto de que en algunas partes del mundo las plantas alóctonas o exóticas ya superan en número a las autóctonas o nativas. Se estima que cada día se mueven alrededor del mundo con el agua de lastre unas 10.000 especies distintas.[6] Por consiguiente, un solo superpetrolero (o, si se quiere, un avión de pasajeros) puede deshacer millones de años de separación geográfica. Anthony Ricciardi, un especialista en especies introducidas de la Universidad de McGill, ha apodado la actual reorganización de la biota del mundo como un «evento de invasión en masa», y ha escrito que «no tiene precedente» en la historia del planeta.[7]

Casualmente, vivo cerca de Albany, relativamente cerca de la cueva donde se descubrieron las primeras pilas de murciélagos muertos. Para cuando me enteré de lo que estaba pasando, el síndrome de la nariz blanca, como ha

dado en conocerse, se había extendido incluso hasta Virginia Occidental y había matado del orden de un millón de murciélagos. Llamé a Hicks, y me sugirió que, como volvía a ser época de censos de murciélagos, podía acompañarles al siguiente recuento. Nos encontramos una mañana gris y fría en un aparcamiento no muy lejos de su oficina. Desde allí, nos dirigimos casi hacia el norte, hacia las Adirondacks.

Al cabo de unas dos horas, llegamos al pie de una montaña no muy lejos del lago Champlain. En el siglo XIX, y de nuevo durante la segunda guerra mundial, las Adirondacks fueron una fuente importante del mineral de hierro, y se perforaron profundos pozos en las montañas. Cuando la mena se acabó, los pozos fueron abandonados por las personas y colonizados por los murciélagos. Para el censo, íbamos a entrar en un túnel de lo que en otro tiempo había sido la mina de Barton Hill. La entrada estaba a medio camino de la ladera, que se encontraba cubierta por más de un metro de nieve. Al principio del sendero, nos esperaban varias personas que golpeaban el suelo con los pies por el frío. La mayoría, como Hicks, trabajaban para el estado de Nueva York, pero también había un par de biólogos del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos, además de un novelista del lugar que buscaba información para un novela en la que quería incluir una trama secundaria relacionada con la nariz blanca.

Todos nos pusimos raquetas de nieve salvo el novelista, quien al parecer había pasado por alto un mensaje que recomendaba traerse un par. La nieve estaba helada y avanzábamos despacio: tardamos media hora en hacer unos 800 metros. Mientras esperábamos al novelista (tenía problemas con algunos ventisqueros de un metro de profundidad) la conversación se centró en los peligros potenciales de entrar en una mina abandonada. Según

aprendí, estos incluían acabar aplastado por la caída de rocas, envenenado por emisiones de gas o muerto al caer por un pozo de más de 30 metros de profundidad. Tras una media hora más llegamos a la entrada de la mina, que no era más que un gran orificio en la ladera de la montaña. Las piedras de la entrada estaban emblanquecidas por guano de aves, y la nieve, cubierta de huellas de garras. Era evidente que cuervos y coyotes habían descubierto que aquél era un buen lugar para conseguir algo que comer.

«Oh, mierda», dijo Hicks. Los murciélagos revoloteaban entrando y saliendo de la mina, y algunos se arrastraban por la nieve. Hicks se acercó a recoger uno; estaba tan letárgico que lo agarró a la primera. Lo sostuvo entre el pulgar y el índice, le partió el cuello y lo introdujo en una bolsa de cierre hermético. «Hoy vamos a tener poco trabajo», anunció.

Desatamos las raquetas, nos pusimos casco y frontal, y entramos uno a uno en la mina, bajando por un largo túnel. Los haces de las linternas barrían el suelo, y los murciélagos volaban hacia nosotros en medio de la oscuridad. Hicks avisó a todos que se mantuvieran alerta. «Hay sitios que si pisas ya no vuelves», advirtió. El túnel avanzaba con curvas y de vez en cuando se abría a unas cámaras como teatros de las que partían varios túneles. Alguna de las cámaras había recibido nombre; cuando llegamos a un tramo sepulcral conocido como sección de Don Thomas, nos dividimos en grupos para comenzar el recuento. El proceso consistió en fotografiar tantos murciélagos como fuera posible. (Más tarde, de vuelta en Albany, alguien sentado frente a un monitor de ordenador tendría que contar todos los murciélagos de las fotografías.) Yo fui con Hicks, que llevaba una cámara enorme, y uno de los biólogos del Servicio de Pesca y Vida Silvestre, que tenía un puntero láser. Los murciélagos son animales muy

sociales, y en la mina colgaban del techo en grupos densos. La mayoría eran murciélagos café pequeños (*Myotis lucifugus*, o «lucis», en el argot de los censos de murciélagos). Ésta es la especie dominante en el noreste de Estados Unidos y la más fácil de ver revoloteando en un crepúsculo de verano. Tal como sugiere el nombre, son pequeños (miden apenas trece centímetros de longitud y pesan unos seis gramos) y marrones, con el pelaje algo más claro en el vientre. (El poeta Randall Jarrell los describió como «del color del café con leche».)[8] Colgando del techo, con las alas plegadas, parecían pompones mojados. También había murciélagos de patas pequeñas (*Myotis leibii*), que pueden identificarse por el rostro muy oscuro, y murciélagos de Indiana (*Myotis sodalis*), que, incluso antes de tener la nariz blanca, ya estaban catalogados como una especie amenazada. A medida que avanzábamos molestábamos a los murciélagos, que emitían susurros y quejidos como unos niños medio dormidos.

Pese a su nombre, la enfermedad de la nariz blanca no queda confinada a la nariz de los murciélagos; mientras recorríamos los túneles fuimos encontrando murciélagos con manchas del hongo en las orejas y las alas. Varios de éstos fueron sacrificados para ser estudiados, con el pulgar y el índice. Se determinaba entonces el sexo del murciélago (los machos pueden identificarse por sus diminutos penes) y los cuerpos se guardaban en bolsas de plástico herméticas.

Aún hoy no sabemos bien del todo cómo mata *Geomyces destructans* a los murciélagos. Lo que sabemos es que los murciélagos enfermos de nariz blanca suelen despertarse del torpor y volar en mitad del día. Se ha propuesto que el hongo, que literalmente se come la piel de los murciélagos, irrita tanto a los animales que llega a despertarlos.[9] Esto, a su vez, hace que consuman las reservas de grasas que habían de durarles todo el invierno.

A las puertas de la inanición, salen volando en busca de insectos que, naturalmente, en esa época del año no se encuentran. También se ha sugerido que el hongo hace que los murciélagos pierdan humedad por la piel, que se deshidraten, lo que los incita a despertarse para salir en busca de agua. Asimismo en este caso utilizan unas reservas de energía esenciales y acaban demacrados y, finalmente, muertos.

Habíamos entrado en la mina de Barton Hill hacia la una del mediodía. A las siete de la tarde ya casi había regresado al punto de partida, al pie de la montaña, salvo que ahora estábamos en su interior. Llegamos a un enorme y oxidado cabrestante que, cuando funcionaba la mina, se había utilizado para sacar la mena a la superficie. Más allá, el camino desaparecía en una charca de agua que recordaba el río Estigio. Era imposible seguir adelante, así que comenzamos la ardua subida de regreso.

El movimiento de especies alrededor del mundo se compara a veces con una ruleta rusa. Como en ese juego en el que la apuesta es tan fuerte, cuando aparece un nuevo organismo pueden pasar dos cosas. La primera, que podríamos denominar la opción de la recámara vacía, es que no pase nada. Bien porque el clima es inadecuado, bien porque el organismo no puede hallar nada para comer, o porque él mismo es comido, o por varias otras razones posibles, el recién llegado no sobrevive (o al menos no logra reproducirse). De la mayoría de las introducciones potenciales no queda ningún registro, las desconocemos totalmente, así que es difícil obtener datos precisos, pero casi con certeza, la gran parte de los invasores potenciales no lo consiguen.

En la segunda opción, no sólo el organismo introducido sobrevive, sino que da lugar a una nueva generación, que a su vez sobrevive y da lugar a otra generación. Esto es lo que, entre los estudiosos de las especies invasoras, se conoce como «establecimiento». De nuevo, es imposible decir con certeza cómo se produce; muchas especies establecidas probablemente queden confinadas al lugar en el que fueron introducidas, o son tan inocuas que pasan desapercibidas. Pero, y aquí es donde volvemos a la analogía de la ruleta, cierto número de ellas dan el tercer paso del proceso de invasión, que es la «expansión». En 1916, se descubrió una docena de extraños escarabajos en un criadero cercano a Rivertown, en Nueva Jersey.[10] Al año siguiente, los insectos, hoy conocidos como *Popillia japonica* o, más comúnmente, como escarabajo japonés, se habían dispersado en todas las direcciones y se podían encontrar en un área de unos 8 $km^2$. Un año más tarde, la superficie ocupada ya era de 18 $km^2$, y al cabo de un año, de 124 $km^2$. El escarabajo siguió expandiendo su territorio a un ritmo geométrico, alcanzando cada año un nuevo y mayor círculo concéntrico, y al cabo de dos décadas ya se podía encontrar de Connecticut a Maryland. (Desde entonces se ha expandido hacia el sur hasta Alabama y hacia el oeste hasta Montana.) Roy van Driesche, un experto en especies invasoras de la Universidad de Massachusetts, ha estimado que de cada cien introducciones potenciales, entre cinco y quince consiguen establecerse. De estas cinco o quince, una acaba siendo «la bala de la recámara».[11]

Por qué algunas especies introducidas son capaces de proliferar de forma explosiva es una cuestión que todavía se debate. Una posibilidad es que para las especies, como para los estafadores, no quedarse quietas es una ventaja. Una especie que haya sido transportada a un nuevo lugar, especialmente en un nuevo continente, deja detrás a

muchos de sus rivales y depredadores. Este deshacerse de los enemigos, que en realidad es un deshacerse de la historia evolutiva, se conoce justamente con la expresión «librarse de enemigos» (*enemy release*). Son muchos los organismos que parecen haberse beneficiado de librarse de sus enemigos, entre ellos el arroyuelo o salicaria, que llegó al noreste de Estados Unidos desde Europa a principios del siglo XIX. En su hábitat original, la salicaria tiene toda suerte de enemigos especializados, como el escarabajo del arroyuelo de margen negro, el escarabajo del arroyuelo dorado, el gorgojo de la raíz del arroyuelo y el gorgojo de las flores del arroyuelo. Todos ellos estaban ausentes en América del Norte cuando apareció la planta, lo que ayuda a explicar que haya logrado dominar áreas encharcadas desde Virginia Occidental al estado de Washington. Algunos de estos depredadores especializados se han introducido recientemente en Estados Unidos en un intento por controlar la expansión de la planta. Esta estrategia de hace-falta-un-invasor-para-cazar-a-otro-invasor tiene un historial decididamente mixto. En algunos casos ha resultado tener mucho éxito; en otros, se ha convertido en un desastre ecológico más. A la última categoría pertenece el caracol caníbal (*Euglandina rosea*), que fue introducido en Hawái a finales de los años cincuenta. Este caracol, autóctono de América Central, fue introducido para que depredara sobre otra especie previamente introducida, el caracol gigante africano (*Achatina fulica*), que se había convertido en una plaga agrícola. *Euglandina rosea* no le hizo apenas caso a *Achatina fulica*, centrándose su atención en cambio en pequeños y vistosos caracoles autóctonos de Hawái. De las más de 700 especies de caracoles endémicos que en un tiempo habitaron las islas, alrededor del 90% se han extinguido, y las que quedan están en franco declive.[12]

El corolario a dejar atrás los viejos antagonistas es encontrar nuevos e ingenuos organismos de los que aprovecharse. Un caso especialmente célebre (y espantoso) de esto nos llega en la larga y delgada forma de la culebra arbórea café (*Boiga irregularis*). Esta culebra es nativa de Papúa Nueva Guinea y del norte de Australia, y llegó a Guam en los años cuarenta, probablemente con transporte militar. La única culebra autóctona de la isla es un animal pequeño y ciego del tamaño de un gusano, de modo que la fauna de Guam no estaba nada preparada para *Boiga irregularis* y su voracidad. La culebra prosperó alimentándose de la mayoría de las aves nativas de la isla, entre ellas el monarca de Guam, que fue visto por última vez en 1984; el rascón de Guam, que sólo subsiste gracias a un programa de cría en cautividad; y el tilopo de las Marianas, extinto en Guam (aunque persiste en un par de islas más pequeñas). Antes de que llegara la culebra arbórea, Guam tenía tres especies autóctonas de mamíferos, todas ellas murciélagos; en la actualidad sólo queda uno, el zorro volador de las Marianas, y se considera en peligro. Entre tanto, la culebra, que también se beneficiaba de haberse librado de sus enemigos, se multiplicaba sin parar; en el pico de lo que en ocasiones se denomina su «irrupción», las densidades de población eran de hasta 100 culebras por hectárea. La devastación provocada por la culebra arbórea café ha sido tan completa que prácticamente se ha quedado sin animales nativos que consumir; en la actualidad se alimenta sobre todo de otros intrusos, como el eslizón curioso, un escinco introducido en Guam desde Papúa Nueva Guinea. El autor Davin Quammen advierte de que si bien es fácil demonizar a la culebra arbórea café, no es un animal malo: sólo es amoral y está en el lugar equivocado. Lo que *Boiga irregularis* ha

hecho en Guam, nos hace notar, «es precisamente lo que *Homo sapiens* ha hecho por todo el planeta: tener un éxito extravagante a costa de otras especies».[13]

Con los patógenos introducidos, la situación es casi la misma. Las relaciones a largo plazo entre los patógenos y sus hospedadores suelen caracterizarse en términos militares: ambos están atrapados en una «carrera de armas evolutiva» en la cual, para sobrevivir, cada uno debe impedir que el otro le tome la delantera. Cuando aparece un patógeno totalmente nuevo, es como llevar una pistola a una pelea con navajas. Al no haber tenido contacto anteriormente con el hongo (o el virus o la bacteria), el nuevo hospedador carece de defensas contra él. Tales «interacciones nuevas», como suelen llamarse, pueden ser espectacularmente mortíferas. En el siglo XIX, el castaño americano era el principal árbol caducifolio de los bosques del noreste de Estados Unidos; en lugares como Connecticut, constituía hasta la mitad de la madera en pie.[14] (A este árbol, que puede rebrotar desde las raíces, le iba bien incluso cuando era explotado intensamente; «no sólo la cuna del bebé estaba hecha de madera de castaño», escribió un fitopatólogo llamado George Hepting, «sino también, probablemente, el ataúd del anciano».)[15] Después, alrededor del cambio de siglo, *Cryphonectria parasitica*, el hongo responsable del chancro del castaño, fue importado a Estados Unidos, probablemente desde Japón. Los castaños asiáticos, que habían coevolucionado con *Cryphonectria parasitica*, no tenían dificultad alguna para soportar al hongo, pero para la especie americana resultó ser letal casi en un 100%. Hacia los años cincuenta había matado prácticamente todos los castaños de Estados Unidos, alrededor de 4.000 millones de árboles. Varias especies de mariposas nocturnas que dependían del árbol desaparecieron con él. Presuntamente, es también la

«novedad» del hongo quitridio lo que explica su letalidad. Explica por qué, de repente, las ranas doradas desaparecieron del Arroyo de las Mil Ranas y por qué los anfibios en general son la clase de organismos más amenazada del planeta.

Incluso antes de que se identificara la causa del síndrome de la nariz blanca, Al Hicks y sus colaboradores sospechaban de una especie introducida. Lo que fuera que estaba matando los murciélagos era presuntamente algo a lo que nunca antes se habían enfrentado, puesto que la tasa de mortalidad era muy alta. Entre tanto, el síndrome se extendía desde el norte del estado de Nueva York siguiendo el clásico patrón de una diana. Aquello parecía indicar que el asesino había tocado tierra cerca de Albany. Resultaba sugerente que cuando la mortandad comenzó a aparecer en las noticias nacionales, un espeleólogo envió a Hicks unas fotografías que había tomado a unos 65 kilómetros de Albany. Las fotos databan de 2006, todo un año antes de que los colaboradores de Hicks le llamasen para decir «mierda», y mostraban murciélagos con signos claros del síndrome. El espeleólogo había tomado las fotografías en una cueva conectada con las Cavernas Howe, un popular destino turístico que, entre otras atracciones, ofrece visitas con linternas y en barca.

«Resulta bastante interesante que el primer caso que conocemos de esto sean fotografías de una cueva comercial en Nueva York que recibe unas 200.000 visitas al año», me dijo Hicks.

Las especies introducidas forman parte hoy de muchos paisajes, hasta tal punto que lo más probable es que baste con mirar por la ventana para ver alguna. Desde donde estoy sentada, en el oeste de Massachusetts, veo una

gramínea que en algún momento alguien decidió plantar y que decididamente no es nativa de Nueva Inglaterra. (Casi todas las hierbas de los céspedes americanos provienen de algún otro lugar, incluso el llamado pasto azul de Kentucky.) Como mi césped no está especialmente bien cuidado, también veo mucho diente de león, que vino de Europa y se expandió hasta casi todos los rincones, y aliaria, también de Europa, y llantén mayor, otro invasor más de Europa. (El llantén debió de llegar con los primeros pobladores blancos y era un indicador tan fiable de su presencia que los nativos americanos lo llamaban «huellas del hombre blanco».) Si me levanto de la mesa y camino más allá del césped, también puedo encontrar: rosa vagabunda, una espinosa invasora asiática; zanahoria silvestre (otra invasora europea); lampazo, también de Europa; y celastro oriental, cuyo nombre habla de sus orígenes. De acuerdo con un estudio de los especímenes de herbarios de Massachusetts, casi una tercera parte de las especies de plantas documentadas en el estado son «recién llegadas naturalizadas».[16] Si excavo unos centímetros, encontraré lombrices de tierra, que también son unas recién llegadas. Antes de la presencia de los europeos, Nueva Inglaterra no tenía lombrices de tierra propias; las lombrices de la región habían sido barridas por la última glaciación, e incluso después de 10.000 años de relativo calor, las lombrices americanas todavía no habían recolonizado el área. Las lombrices de tierra ingieren restos de hojarasca y, de este modo, modifican de una forma drástica la composición de los suelos forestales. (Aunque a los jardineros les encantan, estudios recientes han vinculado su introducción con un declive de salamandras autóctonas en el noreste de America del Norte.)[17] Mientras escribo esto, varios invasores nuevos y potencialmente desastrosos parecen están expandiéndose por Massachusetts, entre ellos, aparte

de *Geomyces destructans*: el longicornio asiático, un escarabajo originario de China que se alimenta de varios árboles caducifolios; la barrena del fresno esmeralda, también de Asia, cuyas larvas perforan túneles y acaban matando los fresnos; y el mejillón cebra, un mejillón de agua dulce importado de Europa oriental que tiene el fastidioso hábito de adherirse a cualquier superficie que encuentre y consumir todo lo que haya en la columna de agua.

«Pon freno a los autoestopistas acuáticos», reza un cartel de carretera en un lago cercano a mi casa. «Limpia todo tu equipo recreativo.» El cartel muestra una fotografía de un bote completamente cubierto de mejillones cebra, como si alguien hubiera aplicado una capa de moluscos en vez de pintura.

Dondequiera que se encuentre el lector de estas líneas, el panorama no será muy distinto, y esto no va sólo por otras partes de Estados Unidos, sino por prácticamente cualquier lugar del mundo. DAISIE, una base de datos de invasoras de Europa, incluye más de 12.000 especies. APASD (la Base de Datos de Especies Exóticas de Asia y Pacífico, por sus siglas en inglés), FISNA (la Red de Especies Invasoras Forestales de África), IBIS (la Base de Datos de Biodiversidad y Especies Invasoras de Islas) y NEMESIS (el Sistema Nacional de Información de Especies Exóticas Marinas y de Estuarios) siguen varios miles más. En Australia, el problema es tan grave que desde preescolar se incluye a los niños en los esfuerzos de control. El Ayuntamiento de Townsville, al norte de Brisbane, anima a los niños a realizar «cacerías regulares» de sapos de caña, que fueron introducidos deliberadamente, pero con consecuencias desastrosas, durante los años treinta con la intención de controlar a los escarabajos de la caña. (Los sapos de la caña son venenosos, y algunas ingenuas

especies autóctonas, como el satanelo septentrional,* mueren al comerlos.) Para matar los sapos de una forma humanitaria, el ayuntamiento instruye a los niños para que los «enfríen en una nevera durante doce horas» y luego los metan «en un congelador durante otras doce horas».[18] Un estudio reciente de visitantes a la Antártida halló que en una sola temporada de verano, los turistas y los investigadores habían traído con ellos más de 70.000 semillas de otros continentes.[19] Ya hay una especie de gramínea (*Poa annua*), una hierba de Europa, que se ha establecido en la Antártida; como este continente sólo tiene dos especies propias de plantas, esto significa que una tercera parte de su flora está formada por invasoras.




John Kleiner.

Desde el punto de vista de la biota mundial, las globalización de los viajes representa un fenómeno radicalmente nuevo y, al mismo tiempo, una repetición de algo muy antiguo. La deriva de los continentes que Wegener dedujo del registro fósil se está invirtiendo ahora, en una forma más que tenemos los humanos de recorrer la historia geológica al revés y a alta velocidad. Es como una versión trucada de la tectónica de placas, pero sin las placas. Al transportar especies asiáticas a América del Norte, especies norteamericanas a Australia, especies australianas a África y especies europeas a la Antártida, estamos reensamblando el mundo en un enorme supercontinente, lo que los biólogos llaman en ocasiones la Nueva Pangea.

La cueva de Aeolus, escondida en una ladera boscosa de Dorset, en Vermont, está considerada el mayor hibernáculo de murciélagos de Nueva Inglaterra; se estima que antes de que golpeara el síndrome de la nariz blanca, pasaban allí el invierno casi 300.000 murciélagos, algunos venían de tan lejos como Ontario y Rhode Island. Unas cuantas semanas después de mi visita a la mina de Barton Hill con Hicks, éste me invitó a que los acompañara a Aeolus. El viaje había sido organizado por el Departamento de Pesca y Vida Silvestre de Vermont, y al pie de la colina, en lugar de ajustarnos unas raquetas de nieve, nos subimos todos a motos de nieve. El camino serpenteaba montaña arriba en una serie de largos zigzags. La temperatura (unos 25 grados) era demasiado baja para que los murciélagos estuviesen activos, pero cuando aparcamos cerca de la entrada de la cueva pude ver murciélagos que revoloteaban por allí. El más veterano de los técnicos de Vermont, Scott Darling, anunció que antes de ir más lejos, teníamos que ponernos

guantes de látex y un mono de Tyvek. Aquello me pareció un poco paranoico, como salido de la trama secundaria sobre el síndrome de la nariz blanca que escribía aquel novelista; sin embargo, no tardé en comprender su sentido.

Aeolus fue creado por el flujo del agua durante miles y miles de años. Para evitar que entre la gente, Nature Conservancy, que es la propietaria de la cueva, ha bloqueado la entrada con una enorme reja de listones de hierro. Con una llave se puede quitar uno de los listones horizontales; se abre así un espacio estrecho por el que colarse (o más bien deslizarse). Pese al frío, de la entrada emanaba un hedor que mareaba, a medio camino entre granja y vertedero. La senda de piedra que conducía a la puerta estaba helada y era difícil mantener el equilibrio. Cuando llegó mi turno, me apreté entre los listones e inmediatamente me deslicé hacia algo blando y húmedo. Al levantarme, comprendí que se trataba de una pila de murciélagos muertos.

La cámara de la entrada de la cueva, conocida como Guano Hall, mide unos 9 metros de ancho por 6 de alto en la entrada. Hacia atrás, se estrecha y desciende. Los túneles que parten de allí son accesibles solamente para los espeleólogos, y los que parten de aquellos, sólo para los murciélagos. Al mirar el interior de Guano Hall, me pareció que estaba mirando una garganta gigante. La escena, en la penumbra, era espeluznante. Desde el techo colgaban largos carámbanos, y del suelo se alzaban como pólipos grandes masas de hielo. El suelo estaba cubierto de murciélagos muertos; observé que algunas de las masas de hielo tenían murciélagos congelados en su interior. Colgados del techo había murciélagos tórpidos, pero también otros bien despiertos que se soltaban y volaban alrededor o, a veces, directamente hacia nosotros.

No está claro por qué en algunos lugares los cadáveres de los murciélagos se apilan mientras que en otros acaban siendo comidos o desaparecen de algún otro modo. Hicks conjeturaba que las condiciones en Aeolus eran tan duras que los murciélagos no lograban siquiera salir de la cueva antes de caer muertos. Él y Darling habían planeado realizar un recuento de los murciélagos de Guano Hall, pero tuvieron que abandonar el plan enseguida y limitarse a recoger especímenes. Darling me explicó que los especímenes irían al Museo Americano de Historia Natural para que quedase al menos un registro de los cientos de miles de *lucis*, murciélagos septentrionales y murciélagos tricolor que en otro tiempo habían hibernado en Aeolus. «Ésta podría ser una de las últimas oportunidades», me dijo. Y luego me hizo ver que, a diferencia de una mina, que como mucho tiene unos pocos siglos, Aeolus ha existido durante miles de años. Es probable que los murciélagos hayan hibernado en ella, generación tras generación, desde que la entrada a la cueva quedó expuesta al final de la última edad de hielo.

«Es lo que hace que todo esto sea tan dramático: se está rompiendo la cadena evolutiva», dijo Darling. Él y Hicks comenzaron a recoger murciélagos muertos del suelo. Los que estaban demasiado descompuestos los rechazaban; los que estaban más o menos intactos los guardaban en unas bolsas de plástico de dos litros, después de determinar su sexo. Les ayudé sosteniendo la bolsa de las hembras muertas. No tardó en estar llena y empezamos otra. Cuando el recuento de especímenes andaba por unos quinientos, Darling decidió que era hora de marchar. Hicks se quedó un rato más; había traído su enorme cámara y dijo que quería tomar algunas fotos. En las horas que habíamos estado resbalando por la cueva, la carnicería se había hecho más grotesca; muchos de los cadáveres de

murciélago habían quedado aplastados y de ellos emanaba sangre. Cuando me dirigía a la entrada, Hicks me llamó: «No pises ningún murciélago muerto». Tardé un instante en comprender que bromeaba.

Es difícil decir cuándo comenzó exactamente el proyecto Nueva Pangea. Si contamos a los humanos como una especie invasora (el divulgador de la ciencia Alan Burdick ha dicho de *Homo sapiens* que es «posiblemente el invasor de más éxito de toda la historia biológica»), el proceso se remonta a unos 120.000 años, hasta el periodo en que los humanos modernos hicieron su primera migración fuera de África.[20] Para cuando los humanos llegaron a América del Norte, hace unos 13.000 años, ya tenían perros domesticados, que trajeron consigo a través del puente de tierra de Bering.[21] Los polinesios que se establecieron en Hawái hace unos 1.500 años no iban acompañados únicamente de ratas, sino también de pulgas, piojos y cerdos. El «descubrimiento» del Nuevo Mundo inició un descomunal canje biológico, el llamado «intercambio columbino», que llevó el proceso a un nuevo nivel. Mientras Darwin elaboraba los principios de la distribución geográfica, aquellos mismos principios estaban siendo deliberadamente socavados por grupos conocidos como sociedades de aclimatación. El mismo año en que se publicó *El origen de las especies*, un miembro de una sociedad de aclimatación de Melbourne liberó los primeros conejos en Australia. Desde entonces se han estado reproduciendo allí como lo que son. En 1890, un grupo de Nueva York que se arrogó como propósito «la introducción y aclimatación de aquellas variedades extranjeras de los reinos animal y vegetal que puedan resultar útiles o interesantes» importó estorninos a Estados Unidos.[22] (El director del grupo presuntamente pretendía traer a Estados Unidos todas las aves mencionadas por

Shakespeare.) El centenar de estorninos soltados en Central Park se han multiplicado hoy en más de doscientos millones.

Aún hoy los americanos importan deliberadamente «variedades extranjeras» que creen que podrían «resultar útiles o interesantes». Los catálogos de jardinería están llenos de plantas no autóctonas, y los catálogos de acuarios, de peces no autóctonos. Según la entrada sobre animales de compañía de la *Encyclopedia of Biological Invasions*, cada año se traen a Estados Unidos más especies exóticas de mamíferos, aves, anfibios, tortugas, lagartos y culebras que el número de especies autóctonas de esos grupos.[23] Por otro lado, a medida que el ritmo y volumen del comercio global ha ido aumentando, también lo ha hecho el número de introducciones accidentales. Especies que no podían sobrevivir un viaje a través del océano bajo el casco de una canoa o en la bodega de un barco ballenero pueden soportar fácilmente el mismo viaje en el tanque de lastre de un moderno carguero o en la bodega de un avión o en la maleta de un turista. Un estudio reciente de especies no autóctonas de las aguas costeras de Estados Unidos halló que «la tasa de invasiones registradas ha aumentado de manera exponencial durante los últimos doscientos años».[24] Y atribuye el ritmo acelerado al aumento de la cantidad de bienes transportados pero también a la creciente velocidad con la que viajan. El Centro de Investigación sobre Especies Invasoras, que tiene su base en la Universidad de California-Riverside, estima que en la actualidad California recibe una nueva especie invasora cada sesenta días. Eso es lento en comparación con Hawái, donde se añade una nueva invasora cada mes. (A modo de comparación, merece la pena observar que antes de que los humanos se

establecieran en Hawái, las nuevas especies conseguían establecerse en el archipiélago aproximadamente una vez cada 10.000 años.)[25]

El efecto inmediato de toda esta mezcla es un aumento de lo que podría llamarse diversidad local. Si se escoge un lugar cualquiera de la Tierra (Australia, la península Antártica, el parque de la esquina), lo más probable es que a lo largo de los últimos siglos el número de especies que se pueden encontrar en la zona haya aumentado. Antes de que los humanos llegasen a la escena, muchas categorías enteras de organismos faltaban en Hawái, no sólo roedores sino anfibios, reptiles terrestres y ungulados. Las islas no tenían hormigas, ni áfidos ni mosquitos. En este sentido, los humanos han enriquecido las islas enormemente. Pero Hawái, en sus tiempos prehumanos, albergaba miles de especies que no existían en ningún otro lugar del planeta, y muchos de esos endemismos hoy se han extinguido o están en vías de hacerlo. Las pérdidas incluyen, además de varios centenares de especies de caracoles terrestres, docenas de especies de aves y más de un centenar de especies de helechos y plantas con flor. Por las mismas razones que la diversidad local, por regla general, ha ido aumentando, la diversidad global (el número total de especies distintas de todo el mundo) ha disminuido.

Suele admitirse que el estudio de las especies invasoras comenzó con Charles Elton, un biólogo británico que publicó su trabajo pionero, *The Ecology of Invasions by Animals and Plants* (*La ecología de las invasiones por animales y plantas*), en 1958. Para explicar los efectos aparentemente paradójicos de las introducciones de especies, Elton usaba la analogía de un conjunto de tanques de cristal. Imaginemos que cada uno de los tanques está lleno de una solución distinta de sustancias químicas. Imaginemos a continuación que cada tanque está

conectado con sus vecinos por medio de largos y estrechos túneles. Si las llaves de los túneles se dejasen abiertas tan sólo durante un minuto al día, las soluciones comenzarían a difundirse lentamente. Las sustancias químicas se recombinarían. Se formarían algunos compuestos nuevos y algunos de los compuestos originales disminuirían «Podría pasar bastante tiempo antes de que el sistema entero llegase a un equilibrio», escribió Elton. Con el tiempo, sin embargo, todos los tanques contendrían la misma solución. La variedad habría desaparecido, que es justamente lo que podría esperarse que pase cuando se ponen en contacto plantas y animales que llevan mucho tiempo aislados.

«Si miramos lo bastante lejos hacia el futuro, el estado al que tenderá el mundo biológico no será más complejo, sino más simple, y más pobre», escribió Elton.[26]

Desde los tiempos de Elton, los ecólogos han intentado cuantificar los efectos de la homogeneización global total por medio de un experimento mental. El experimento comienza con la compresión de todas las masas continentales del mundo en un único megacontinente. Entonces se utiliza la relación especies-área para estimar la variedad que una masa continental así podría sustentar. La diferencia entre esta cifra y la diversidad del mundo tal como es ahora representa la pérdida que implicaría la interconexión completa. En el caso de los mamíferos terrestres, la diferencia es del 66%, que es lo mismo que decir que cabría esperar que un mundo con un único continente contuviera solamente alrededor de una tercera parte de las especies de mamíferos que existen en la actualidad.[27] En el caso de las aves terrestres, es poco menos del 50%, lo que significa que ese mundo contendría la mitad de las especies de aves que el mundo actual.

Si miramos aún más lejos de lo que lo hizo Elton, a millones de años hacia el futuro, es más que probable que el mundo biológico vuelva a hacerse más complejo. Suponiendo que en algún momento cese el transporte y el comercio global, la Nueva Pangea volvería a romperse, en sentido figurado. Los continentes volverían a separarse, y la islas se quedarían de nuevo aisladas. Y al tiempo que esto ocurriría, evolucionarían nuevas especies y se producirían nuevas radiaciones a partir de los invasoras que se han dispersado por todo el mundo. Hawái tal vez acabase teniendo ratas gigantes y Australia conejos gigantes.

El invierno siguiente a mi visita a Aeolus con Al Hicks y Scott Darling, regresé con otro grupo de biólogos de la vida silvestre. En esta ocasión, la escena que encontramos en la cueva fue muy diferente pero no menos macabra. A lo largo del año, las pilas de murciélagos muertos y sanguinolentos se habían descompuesto casi por completo, y todo lo que quedaba era una alfombra de delicados huesos no más gruesos que una aguja de pino.

En esta ocasión realizaban el censo Ryan Smith, del Departamento de Pesca y Vida Silvestre de Vermont, y Susi von Oettingen, del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos. Comenzaron por un grupo de murciélagos que colgaban de la parte más ancha de Guano Hall. Al inspeccionarlos más de cerca, Smith observó que la mayoría de los animales del grupo ya estaban muertos, con sus diminutos pies todavía agarrados a la roca en rígor mortis. Pero le pareció ver algunos murciélagos vivos entre los cadáveres. Le cantó el número a von Oettingen, que había traído lápiz y algunas tarjetas.

«Dos *lucis*», dijo Smith.

«Dos *lucis*», repitió Oettingen, y escribió el número.

Smith fue avanzando hacia el interior de la cueva. Von Oettingen me llamó y con un gesto me señaló una grieta en la cara de la roca. Al parecer, en otro tiempo habían hibernado en su interior docenas de murciélagos. Ahora sólo quedaba una capa de mugre negra salpicada de huesos finos como palillos. Von Oettingen recordaba que en una visita anterior a la cueva había visto un murciélago vivo que acariciaba con el hocico unos murciélagos muertos. «Me rompió el corazón», dijo.

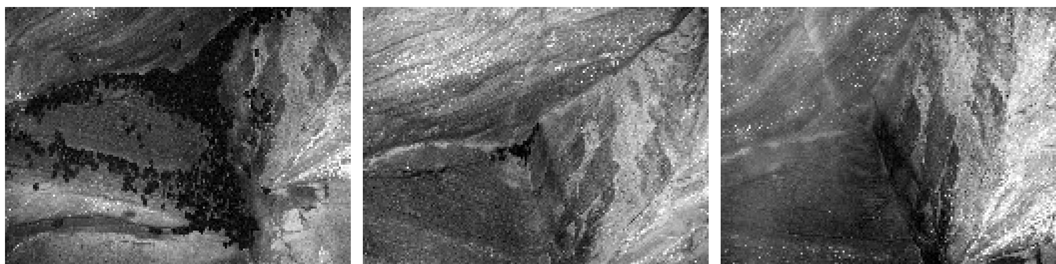
La sociabilidad de los murciélagos ha resultado ser muy provechosa para *Geomyces destructans*. En invierno, cuando se congregan, los murciélagos infectados transmiten el hongo a los que están limpios. Luego, los que sobreviven hasta la primavera se dispersan, llevándose el hongo con ellos. De este modo, *Geomyces destructans* pasa de un murciélago a otro y de una cueva a otra.

Smith y Oettingen no tardaron más de veinte minutos en censar Guano Hall, que estaba casi vacío. Cuando acabaron, von Oettingen contó las cifras de las tarjetas: 88 *lucis*, 1 murciélago septentrional, 3 tricolor y 20 murciélagos de especies indeterminadas. En total, 112, una trigésima parte de los que solían contar en Guano Hall en un año típico. «Es imposible luchar contra una mortalidad así», me dijo von Oettingen cuando salimos por la estrecha abertura entre los listones. Me explicó que *lucis* se reproduce muy despacio (las hembras sólo producen una cría al año), de modo que incluso si algunos murciélagos al final resultasen ser resistentes al síndrome de la nariz blanca, se hacía difícil ver de qué modo podrían recuperarse las poblaciones.

Desde aquel invierno, el de 2010, se ha confirmado el origen de *Geomyces destructans* en Europa, donde al parecer se encuentra ampliamente distribuido. El continente tiene sus propias especies de murciélago, por

ejemplo el murciélago ratonero grande (*Myotis myotis*), que se encuentra desde Turquía hasta Holanda. Estos murciélagos llevan el hongo de la nariz blanca, pero no parece que les moleste, lo que sugiere que las dos especies han coevolucionado.

Mientras tanto, la situación en Nueva Inglaterra sigue siendo poco halagüeña. Volví a Aeolus para el recuento de 2011. En Guano Hall sólo se encontraron 35 murciélagos. Volví también en 2012. Tras caminar ladera arriba hasta la entrada a la cueva, el biólogo al que acompañaba decidió que hacer el censo sería un error: el riesgo de perturbar a los pocos murciélagos que había era mayor que el beneficio que pudiera derivarse de contarlos. Volví a subir el invierno de 2013. Para entonces, según el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos, el síndrome de la nariz blanca se había extendido a veintidós estados y cinco provincias canadienses y había matado a más de seis millones de murciélagos. Aunque estábamos bajo cero, un murciélago voló hacia mí cuando me hallaba frente a los listones de la puerta. Conté diez murciélagos pegados a la roca alrededor de la entrada; la mayoría tenía el aspecto desecado de unas pequeñas momias. El Departamento de Pesca y Vida Silvestre de Vermont había puesto unos letreros en dos árboles junto a la entrada de Aeolus. Uno decía: «Esta cueva permanecerá cerrada hasta nuevo aviso». El otro anunciaba que los infractores podían ser multados con «hasta 1.000 dólares por murciélago». (No quedaba claro si se refería a los vivos o también a los muertos, mucho más abundantes.)



La misma esquina de Guano Hall fotografiada en (de izquierda a derecha): el invierno de 2009 (con murciélagos hibernando), el invierno de 2010 (con menos murciélagos), y el invierno de 2011 (sin murciélagos). Vermont Fish and Wildlife Department/Joel Flewelling.

No hace mucho llamé a Scott Darling para que me pusiera al corriente de la situación. Me dijo que el murciélago café pequeño, que en otro tiempo había sido tan común en Vermont, se había catalogado oficialmente como especie en peligro de extinción en el estado. En la misma categoría habían entrado los murciélagos septentrionales y los tricolor. «Uso la palabra "desesperado" con frecuencia», me dijo. «Estamos en una situación desesperada.»

«Por cierto —me dijo—, hace unos días leí una noticia curiosa. Un lugar llamado Vermont Center for Ecostudies ha montado una página web para que la gente pueda tomar una foto del organismo que sea de Vermont y enviarla para que quede registrada en la página. Hace unos años me habría reído, habría dicho: "¡Va a haber gente que os envíe una foto de un pino!". Pero ahora, con lo que ha pasado con los murciélagos café, ojalá la hubieran montado antes.»

# 11

# Una ecografía para el rinoceronte

*Dicerorhinus sumatrensis*

Lo primero que vi de Suci fue su prodigioso dorso. Medía unos 90 centímetros de ancho y estaba punteado de pelo grueso y rojizo. Su pellejo pardo bermejo mostraba la textura del linóleo cuarteado. Suci, una rinoceronte de Sumatra, vive en el zoo de Cincinnati, donde nació en 2004. La tarde de mi visita, había otras persona alrededor de sus formidable ancas. Como le daban palmadas afectuosas, también yo me acerqué a acariciarla. Fue como acariciar el tronco de un árbol.

La dra. Terri Roth, directora del Centro de Conservación e Investigación sobre Vida Silvestre en Peligro de Extinción, del zoo de Cincinnati, había llegado al espacio del rinoceronte vestida con una bata. Roth es alta y delgada, con pelo largo y castaño que llevaba recogido en un moño. Se colocó un guante de plástico transparente que estiró sobre el antebrazo derecho, hasta más arriba del codo, casi hasta el hombro. Uno de los cuidadores de Suci le envolvió la cola en algo parecido a un film transparente y la sostuvo a un lado. Otro cuidador cogió un balde y se colocó junto a la boca de Suci. Me resultaba difícil ver nada por encima de las ancas, pero me dijeron que le estaba dando al rinoceronte rodajas de manzana, y pude oír cómo las masticaba. Mientras Suci estaba distraída, Roth se puso un

segundo guante encima del primero y agarró algo que parecía un mando de videojuego. Entonces introdujo el brazo en el ano del rinoceronte.

De las cinco especies de rinoceronte que todavía existen, el rinoceronte de Sumatra (*Dicerorhinus sumatrensis*) es el más pequeño y, en cierto sentido, el más viejo. El género *Dicerorhinus* surgió hace unos 20 millones de años, lo que significa que el linaje del rinoceronte de Sumatra se remonta, relativamente sin cambios, al Mioceno. Los análisis genéticos han puesto de manifiesto que es el pariente vivo más cercano del rinoceronte lanudo que, durante la última edad de hielo, se podía encontrar desde Escocia hasta Corea del Sur.[1] E. O. Wilson, que en una ocasión pasó una noche en el zoo de Cincinnati con la madre de Suci y conserva un mechón de su pelo sobre su escritorio, ha descrito el rinoceronte de Sumatra como un «fósil viviente».[2]

Los rinocerontes de Sumatra son animales tímidos y solitarios que en estado salvaje buscan los matorrales densos. Tienen dos cuernos (uno de mayor tamaño en la punta del hocico y otro menor detrás de éste) y un labio superior en punta, que utilizan para coger hojas y ramas de los árboles. La vida sexual de estos animales es, por lo menos desde una perspectiva humana, del todo impredecible. Las hembras son lo que se conoce como ovuladoras inducidas; no liberan un óvulo mientras no perciben que a su alrededor hay un macho elegible. En el caso de Suci, el macho elegible más cercano está a 16.000 kilómetros de distancia, y por eso estaba Roth allí, con el brazo metido en el recto del rinoceronte.

Alrededor de una semana antes, Suci había recibido una inyección de una hormona diseñada para estimular sus ovarios. Unos pocos días más tarde, Roth había intentado inseminarla artificialmente, un proceso que implicaba

introducir un tubo largo y fino a través de los pliegues del cuello uterino de Suci para luego bombear a través de él un vial de semen descongelado. De acuerdo con las notas que Roth había tomado entonces, Suci se había «portado muy bien» durante el procedimiento. Ahora había llegado el momento de la ecografía de seguimiento. En la pantalla de un ordenador colocado junto al hombro de Roth comenzaron a aparecer unas imágenes granuladas. Roth localizó la vejiga de Suci, que apareció en la pantalla como una burbuja oscura, y prosiguió. Su esperanza era que un óvulo que había visto en el ovario derecho de Suci en el momento de la inseminación se hubiera liberado por fin. De ser así, había una posibilidad de que Suci quedase embarazada. Pero el huevo seguía allí donde Roth lo había visto la última vez, un círculo negro contra una nube gris.

«Suci no ha ovulado», anunció Roth a la media docena de cuidadores del zoo que habían venido a ayudar. Para entonces, el brazo entero de Roth había desaparecido en el interior del rinoceronte. El grupo soltó un gemido colectivo. «Oh, no», dijo alguien. Roth sacó el brazo y se quitó los guantes. Aunque claramente decepcionada por el resultado, no parecía sorprendida.

El rinoceronte de Sumatra se encontraba en otro tiempo desde las faldas del Himalaya, en lo que hoy es Bhután y el noreste de India, hacia el sur por Myanmar, Tailandia, Camboya y la península Malaya, así como en las islas de Sumatra y Borneo. En el siglo XIX todavía era tan común que se le consideraba un problema para la agricultura. A medida que se fueron talando los árboles del sureste de Asia, el hábitat del rinoceronte se fue encogiendo y fragmentando. A principios de los años ochenta, su población había quedado reducida a apenas unos cientos de

animales, la mayoría en reservas aisladas de Sumatra, y el resto en Malasia. El animal parecía estar inexorablemente abocado a la extinción cuando, en 1984, un grupo de conservacionistas se reunieron en Singapur para intentar diseñar una estrategia de rescate. El plan que esbozaron requería, entre otras cosas, establecer un programa de cría en cautividad como seguro frente a la pérdida total de la especie. Se capturaron 40 rinocerontes, 7 de los cuales se enviaron a parques zoológicos de Estados Unidos.

El programa de cría en cautividad tuvo unos inicios desastrosos. En el plazo de menos de tres semanas, cinco rinocerontes de una instalación de cría de la Malasia peninsular sucumbieron a la tripanosomiasis, una enfermedad causada por unos parásitos que se dispersan a través de moscas. Diez animales se capturaron en Sabah, un estado de Malasia en el extremo oriental de Borneo, y de éstos dos murieron a causa de heridas que recibieron durante la captura. Un tercero se lo cobró el tétanos. Un cuarto expiró por razones desconocidas, y, al final de la década, ninguno había producido descendencia. En Estados Unidos, la tasa de mortalidad fue incluso mayor. Los zoos alimentaban a los rinocerontes con heno, pero resultó que los rinocerontes de Sumatra no pueden vivir con heno, sino que necesitan hojas y ramas frescas. Para cuando se comprendió esto, sólo seguían vivos tres de los animales enviados a Estados Unidos, cada uno en una ciudad diferente. En 1995, la revista *Conservation Biology* publicó un artículo sobre el programa de cría en cautividad. Se titulaba «Helping a Species Go Extinct» («Cómo ayudar a una especie a extinguirse».)

Aquel mismo año, en un último esfuerzo desesperado, los zoos del Bronx y de Los Ángeles enviaron los rinocerontes que les quedaban (ambas hembras) a Cincinnati, que tenía el único macho superviviente, Ipuh.

Roth fue contratada para averiguar qué hacer con ellos. Al ser solitarios, no se podía tener a los animales en el mismo recinto, pero obviamente si no se ponían en contacto, no se podrían aparear. Roth se sumergió en el estudio de la fisiología del rinoceronte, recogiendo muestras de sangre, analizando la orina y midiendo los niveles de hormonas. Cuanto más aprendía, más se multiplicaban los retos.

«Es una especie muy complicada», me dijo cuando regresamos a su oficina, que está decorada con estanterías llenas de rinocerontes de madera, barro y felpa. Rapunzel, la hembra del Bronx, resultó ser demasiado vieja para reproducirse. Emi, la hembra de Los Ángeles, parecía tener la edad adecuada, pero no ovulaba, un enigma que Roth tardó casi un año en resolver. En cuanto se dio cuenta de cuál era el problema (la rinoceronte tenía que notar la presencia de un macho a su alrededor) comenzó a organizar unas breves y muy vigiladas «citas» entre Emi e Ipuh. Tras tontear unos meses, Emi quedó preñada. Pero abortó. Volvió a quedar preñada, y volvió a abortar. Esta pauta se repitió hasta un total de cinco abortos. Tanto Emi como Ipuh desarrollaron problemas en los ojos, que Roth finalmente atribuyó a que pasaban demasiado tiempo al sol. (En estado salvaje, los rinocerontes viven a la sombra de los árboles.) El zoo de Cincinnati invirtió medio millón de dólares en unos toldos hechos a medida.

Emi quedó preñada una vez más vez en el otoño de 2000. Esta vez, Roth le suministró unos suplementos hormonales líquidos, que el rinoceronte ingería con unas rebanadas de pan empapadas de progesterona. Por fin, tras una gestación de dieciséis meses, Emi parió a Andalas, un macho. Le siguió Suci (que significa «sagrado» en indonesio) y luego otro macho, Harapan. En 2007, Andalas fue enviado de vuelta a Sumatra, a una instalación de cría

en cautividad en el Parque Nacional Way Kambas. Allí, en 2002, fue padre de un macho llamado Andatu, el nieto de Emi e Ipuh.



Suci en el zoo de Cincinnati. Tom Uhlman, zoo de Cincinnati.

Los tres rinocerontes criados en cautividad nacidos en Cincinnati y el cuarto de Way Kambas obviamente no compensan los muchos animales que murieron durante aquellos mismos años. Pero han resultado ser prácticamente los únicos rinocerontes de Sumatra nacidos en cualquier lugar durante las últimas tres décadas. Desde mediados de los años ochenta, el número de rinocerontes de Sumatra en estado salvaje ha disminuido tan vertiginosamente que hoy se cree que en todo el mundo no quedan más de un centenar de individuos. En un giro irónico, los humanos han llevado a la especie a una situación tan desesperada que sólo unos esfuerzos humanos heroicos pueden salvarla. Si *Dicerorhinus sumatrensis* tiene

algún futuro, es gracias a Roth y un puñado de gente como ella que saben cómo hacer una ecografía con el brazo metido en el recto de un rinoceronte.

Y lo que vale para *Dicerorhinus sumatrensis* vale también, en mayor o menor grado, para todos los rinocerontes. El rinoceronte de Java, que en otro tiempo se extendía por casi todo el sureste de Asia, se cuenta hoy entre los animales más raros del planeta, probablemente con menos de cincuenta individuos, todo en la misma reserva javanesa. (El último que se sabe que vivió en otro lugar, en Vietnam, fue abatido por un furtivo en el invierno de 2010.) Del rinoceronte indio, que es la mayor de las cinco especies y parece llevar un abrigo arrugado, como en el relato de Rudyard Kipling, no quedan más que unos tres mil individuos, la mayoría en cuatro parques del estado de Assam. Hace unos cien años, en África, la población de rinoceronte negro se acercaba a un millón; desde entonces ha quedado reducida a unos cinco mil animales. El rinoceronte blanco, también de África, es la única especie de rinoceronte que todavía no está clasificada como amenazada. Fue cazada casi hasta la extinción en el siglo XIX, recuperó notablemente sus poblaciones durante el siglo XX y ahora, en el siglo XXI, vuelve a estar bajo presión por los furtivos, que venden los cuernos de rinoceronte en el mercado negro por más de cuarenta mil dólares el kilo. (Los cuernos de rinoceronte, que están hechos de queratina, como nuestras uñas, se vienen usando desde hace mucho tiempo en la medicina tradicional china, pero en años recientes están más buscados como «droga» de moda en las fiestas más exclusivas; en clubs del sureste asiático, el polvo de cuerno se esnifa como la cocaína.)[3]

Por otro lado, como es natural, los rinocerontes tienen mucha compañía. La gente siente una conexión profunda, casi mística con los grandes mamíferos «carismáticos»,

incluso cuando están detrás de unos barrotes, que es la razón de que los zoos dediquen tantos recursos a exhibir rinocerontes, pandas y gorilas. (Wilson describió la tarde que pasó con Emi en el zoo de Cincinnati como «uno de los acontecimientos más memorables» de su vida.) Pero casi en cualquiera de los lugares donde no están encerrados, los grandes mamíferos carismáticos lo están pasando muy mal. De las ocho especies de oso del mundo, seis están categorizadas como «vulnerables» o «en peligro» de extinción. Los elefantes asiáticos han disminuido en un 50% durante las tres últimas generaciones. A los elefantes africanos les va mejor, pero, como los rinocerontes, cada vez están más amenazados por la caza furtiva. (Un estudio reciente llegó a la conclusión de que la población de elefantes africanos de bosque, que muchos consideran un especie distinta de los elefantes de sabana, ha caído en más de un 60% sólo en los últimos diez años.)[4] Las poblaciones de la mayoría de los grandes felinos (leones, tigres, guepardos y jaguares) también están disminuyendo. De aquí a un siglo, es posible que los pandas, los tigres y los rinocerontes sólo sobrevivan en los zoos o, en palabras de Tom Lovejoy, en reservas naturales tan pequeñas y vigiladas que podemos calificarlas de «cuasizoos».[5]

El día después de la ecografía de Suci, fui a visitarla otra vez. Era una mañana fría de invierno, de modo que Suci estaba confinada a lo que eufemísticamente se conoce como su «establo», un cobertizo bajo de bloques de hormigón y lleno de lo que parecían celdas de una prisión. Cuando llegué, alrededor de las 7:30, era hora de comer, y Suci estaba mascando unas hojas de ficus en uno de los compartimentos. Por término medio, según me comentó Paul Rainhart, el principal cuidador de rinocerontes, Suci se

come unos 45 kilogramos de ficus que hay que traer en avión desde San Diego. (El coste total de los envíos asciende a casi 100.000 dólares al año.) Consume además varias cestas de fruta; aquella mañana, el surtido incluía manzanas, uvas y plátanos. Suci comió con lo que me pareció una determinación lúgubre. Cuando acabó con las hojas de ficus, comenzó con las ramas. Éstas tenían alrededor de 3 a 5 centímetros de grosor, pero las masticaba sin más dificultad que una persona cualquiera que mordiera un pretzel.

Reinhart me describió a Suci como una «buena mezcla» entre su madre, Emi, que murió en 2009, y su padre Ipuh, que todavía vive en el zoo de Cincinnati. «Emi, si había algún lío en el que meterse, se metía», recordaba. «Suci es muy juguetona. Pero también es más terca, como su padre.» Pasó por allí otro de los cuidadores, empujando una enorme carretilla llena de un humeante estiércol de color pardo rojizo, los excrementos de Suci e Ipuh de la noche anterior.

Suci está tan acostumbrada a estar entre personas, algunas que les dan golosinas, otras que les meten la mano por el recto, que Reinhart permitió que me quedase un rato con ella mientras él iba a su oficina a ocuparse de otros asuntos. Mientras acariciaba sus flancos peludos, se me antojaba un perro gigante. (En realidad, los rinocerontes están más emparentados con los caballos.) Aunque no puedo decir que la notase muy juguetona, sí que parecía ser afectuosa, y cuando la miré a sus negrísimos ojos, podría jurar que vi un destello de reconocimiento entre especies. Al mismo tiempo, recordé la advertencia de un trabajador del zoo que me había dicho que si Suci decidía de repente sacudir su enorme cabeza, podría romperme el brazo fácilmente. Al cabo de un rato, llegó el momento de pesar a Suci. Los cuidadores pusieron unos trozos de

plátano frente a una báscula de palés construida en el suelo del siguiente compartimento. Cuando Suci se acercó para comerlos, la lectura de la báscula fue de 684 kilogramos.

Los animales muy grandes lo son, como es lógico, por una buena razón. Al nacer, Suci ya pesaba 30 kilos. De haber nacido en Sumatra, podría haberse convertido en la presa de un tigre (aunque en la actualidad los tigres de Sumatra también se encuentran en peligro crítico de extinción). Pero probablemente habría sido protegida por su madre, y los rinocerontes adultos no tienen depredadores naturales. Lo mismo puede decirse de los llamados megaherbívoros; los elefantes y los hipopótamos adultos son tan grandes que ningún animal osa atacarlos. Los osos y los grandes felinos también se encuentran protegidos de la depredación.

Tales son las ventajas de ser muy grande, de la estrategia que podríamos llamar «demasiado grande para temer nada», que cabe pensar que, desde un punto de vista evolutivo, debe de ser una buena apuesta. Y, en efecto, en diversos momentos de su historia, la Tierra ha estado poblada por animales colosales. Hacia finales del Cretácico, por ejemplo, *Tyrannosaurus* era un grupo más entre otros de enormes dinosaurios; también estaba el género *Saltasaurus*, cuyos miembros pesaban del orden de toneladas; *Therizinosaurus*, el mayor de los cuales medía más de 10 metros de longitud; y *Saurolophus*, que probablemente fuesen incluso mayores.

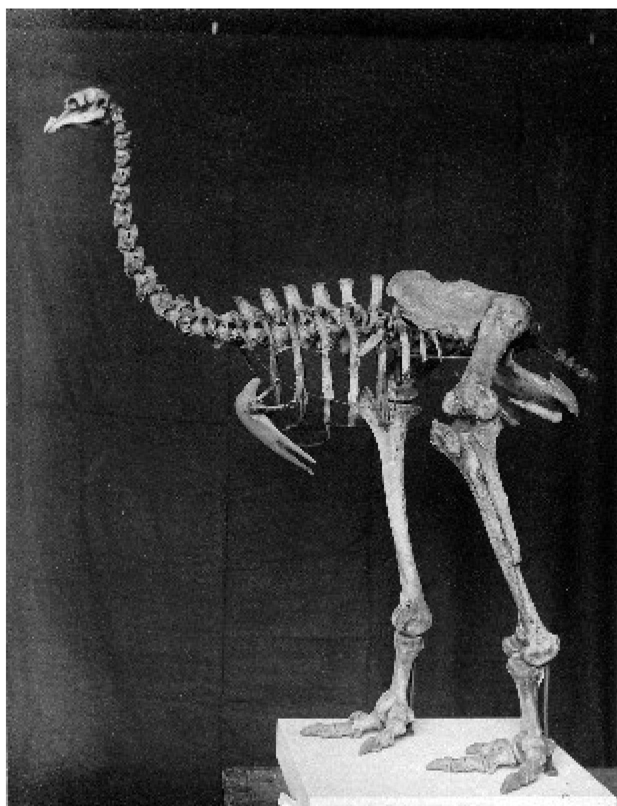
En tiempos mucho más recientes, hacia el final de la última edad de hielo, podían encontrarse animales descomunales casi en cualquier lugar de la Tierra. Además de los rinocerontes lanudos y los osos de las cavernas, en Europa vivían el uro eurasiático, el ciervo gigante y unas colosales hienas. Los gigantes de América del Norte incluían mastodontes, mamuts y *Camelops*, unos robustos

primos de los modernos camellos. El continente también albergaba castores del tamaño de los actuales osos grizzly; *Smilodon*, un grupo de tigres de dientes de sable; y *Megalonyx jeffersonii*, un perezoso no arbóreo que pesaba cerca de una tonelada. América del Sur tenía sus propios perezosos gigantes, además de *Toxodon*, un género de mamíferos con cuerpo de rinoceronte y cabeza de hipopótamo, y gliptodontes, unos parientes de los armadillos que, en algunos casos, podían alcanzar el tamaño de un Fiat 500. La megafauna más extraña y variada se encontraba en Australia. Vivían allí diprotodontes, un grupo de pesados marsupiales coloquialmente conocidos como uómbats rinoceronte; *Thylacoleo carnifex*, un carnívoro del tamaño de un tigre que suele conocerse como león marsupial; y el canguro gigante de rostro corto, de hasta tres metros de altura.

Incluso algunas islas relativamente pequeñas tenían sus propios monstruos. Chipre contaba con un elefante enano y un hipopótamo enano. En Madagascar vivían tres especies de hipopótamos pigmeos, una familia de enormes aves no voladoras conocidas como aves elefante, así como varias especies de lémures gigantes. La megafauna de Nueva Zelanda era notable por el hecho de estar formada exclusivamente por aves. El paleontólogo australiano Tim Flannery la ha descrito como una suerte de experimento conceptual hecho realidad: «Nos enseña cómo podría haber sido el mundo si hace 65 millones de años se hubieran extinguido los mamíferos con los dinosaurios, y las aves hubieran heredado el mundo».[6] En Nueva Zelanda, distintas especies de moa evolucionaron hasta llenar los nichos ecológicos que en otros lugares ocupan herbívoros de cuatro patas, como los rinocerontes o los ciervos. Las más grandes, la moa gigante de la isla Norte y la moa gigante de la isla Sur, alcanzaban casi 4 metros de altura.

Curiosamente, las hembras eran casi el doble de gigantes que los machos gigantes, y se cree que la tarea de incubar los huevos recaía en los padres.[7] Nueva Zelanda también tenía una enorme ave de rapiña conocida como águila de Haast, que cazaba moas y tenía una envergadura alar de casi 2,5 metros.

¿Qué pasó con todos aquellos animales gigantescos? Cuvier, que fue el primero en advertir su desaparición, creía que habían sucumbido a la catástrofe más reciente: una «revolución de la superficie de la Tierra» que había tenido lugar justo antes del inicio de la historia escrita. Cuando naturalistas posteriores rechazaron el catastrofismo de Cuvier, tuvieron que enfrentarse a un enigma. ¿Por qué habían desaparecido tantos animales de gran tamaño en un periodo de tiempo relativamente tan breve?



Las moas más grandes alcanzaban hasta 3,5 metros de alto. © Natural History Museum, Londres/Mary Evans Picture Library.

«Vivimos en un mundo zoológicamente empobrecido, del que han desaparecido en tiempos recientes las formas más grandes, más feroces y más extrañas», observaba Alfred Russel Wallace. «Y se trata, sin duda, de un mundo mejor para nosotros ahora que ya no están. Sin embargo, es un hecho decididamente prodigioso, y que apenas hemos investigado, esta repentina extinción de tantos grandes mamíferos, y no en un único lugar, sino en más de la mitad de la superficie terrestre del planeta.»[8]

* * *

Casualmente, el zoo de Cincinnati se encuentra a sólo 40 minutos en coche de Big Bone Lick, donde Longueuil encontró el diente de mastodonte que inspiraría la teoría de la extinción de Cuvier. Hoy parque natural estatal, Big Bone Lick se anuncia como el «lugar de nacimiento de la paleontología de vertebrados americana» y ofrece en su sitio web un poema que celebra su lugar en la historia.

En Big Bone Lick, los primeros exploradores
hallaron esqueletos dicen que de elefante,
hallaron costillas y colmillos de mamuts lanudos.
Los huesos
parecían vestigios de un poderoso sueño,
cementerio de una época dorada.[9]

Una tarde, durante mi visita a Suci, decidí acercarme al parque. La desconocida frontera de los tiempos de Longueuil ya no estaba, por supuesto, y el área iba siendo engullida paulatinamente por los suburbios de Cincinnati. Por el camino pasé al lado del surtido habitual de cadenas comerciales y luego una serie de urbanizaciones tan recientes que algunas de las casas todavía se estaban

construyendo. Por fin, me encontré en tierra de caballos. Justo después de Woolly Mammoth Tree Farm giré para entrar en el parque. «Prohibida la caza», rezaba el primer letrero. Otros indicaban la localización de zonas de acampada, un lago, una tienda de regalos, un campo de minigolf, un museo y un rebaño de bisontes.

Durante el siglo XVIII y principios del XIX, se extrajeron de las turberas de Big Bone Lick muchas toneladas de especímenes: fémures de mastodonte, colmillos de mamut, cráneos de perezosos gigantes. Algunos fueron a parar a París o Londres, otros a Nueva York y Filadelfia, y aun otros se perdieron. (Todo un envío desapareció cuando un buque colonial fue atacado por indios kickapoo; otro se hundió en el Misisipí.) Thomas Jefferson exhibía con orgullo huesos de Lick en un museo que para el caso estableció en la Sala Este de la Casa Blanca. Lyell se preocupó de visitarlo durante una visita a Estados Unidos en 1842, y se compró el diente de un mastodonte.[10]

En la actualidad, Big Bone Lick ha sido explotado tan concienzudamente por los recolectores que apenas quedan huesos. El museo de paleontología del parque está formado por una única sala, casi vacía. En una de las paredes hay un mural que muestra un rebaño de melancólicos mamuts que avanzan con dificultad por la tundra, y en la pared opuesta unas vitrinas de cristal exhiben unos cuantos colmillos rotos y unas cuantas vértebras de perezoso gigante. Casi tan grande como el museo es la tienda de regalos adyacente, que vende monedas de madera y golosinas y camisetas con el lema «No soy gordo, sólo tengo huesos grandes». Una alegre rubia estaba en la caja cuando lo visité. Me dijo que la mayoría de la gente no comprendía la «importancia del parque»; venían sólo por el lago y el minigolf que, lamentablemente, en invierno estaban cerrados. Me ofreció un mapa y me animó a recorrer el sendero de

interpretación que comenzaba allí mismo. Le pregunté si podía mostrármelo, pero me contestó que no, que estaba demasiado ocupada. Por lo que sabía, éramos las dos únicas personas en todo el parque.

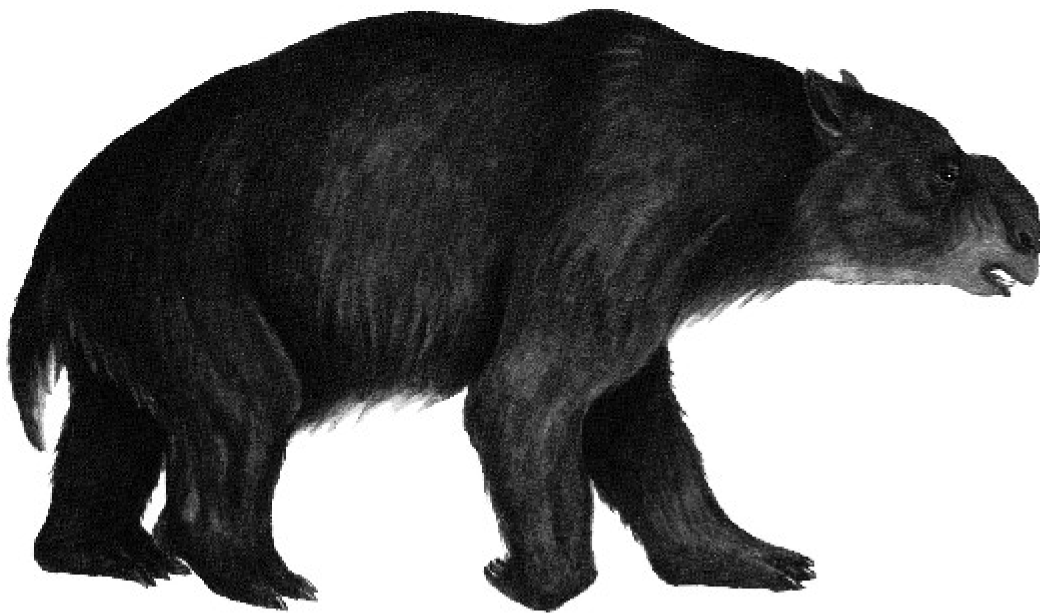
Me dirigí afuera, hasta el sendero. Justo detrás del museo encontré un mastodonte de plástico de tamaño real. Tenía la cabeza baja, como si fuera a cargar. No muy lejos había un perezoso gigante de plástico de unos tres metros, erguido amenazadoramente sobre sus patas traseras, y un mamut que parecía hundirse aterrorizado en una turbera. Aquel sombrío cuadro lo completaban un bisonte de plástico medio descompuesto, un buitre de plástico y unos cuantos huesos de plástico.

Un poco más adelante llegué al arroyo de Big Bone, que estaba helado. Bajo el hielo, el agua burbujeaba perezosamente. Un ramal del sendero me llevó hasta una plataforma de madera levantada sobre el pantano. Había aguas abiertas que desprendían un hedor sulfuroso y estaban cubiertas de una fina capa blanca como caliza. En la plataforma, un cartel explicaba que durante el Ordovícico el océano había cubierto aquella región. Había sido la sal acumulada en aquel antiguo lecho marino lo que había atraído a los animales a beber en Big Bone Lick, y en muchos casos a morir allí. Un segundo cartel observaba que entre los restos hallados en el Lick había «los de al menos ocho especies que se extinguieron hace unos 10.000 años». A lo largo del sendero encontré otros carteles. Éstos daban una explicación (de hecho, dos explicaciones distintas) al misterio de la desaparición de la megafauna. Un cartel ofrecía la siguiente: «El cambio de bosque de coníferas a bosque de caducifolios, o tal vez el calentamiento del clima que produjo aquel cambio, causó la desaparición en todo el continente de los animales extintos del Lick». Otro cartel le echaba la culpa a otra cosa. «En el plazo de 1.000 años

desde la llegada de los humanos, desaparecieron los grandes mamíferos», decía. «Parece probable que los paleoindios desempeñaran al menos algún papel en su declive.»

En la década de 1840 ya se habían propuesto ambas explicaciones de la extinción de la megafauna. Lyell estaba entre los que defendían la primera, la «gran modificación del clima», en sus propias palabras, que se había producido durante la edad de hielo.[11] Darwin, como solía, se puso del lado de Lyell, aunque en esta ocasión con cierta renuencia. «No me siento del todo cómodo con el periodo glacial y la extinción de los grandes mamíferos», escribió.[12] Wallace, por su parte, en un principio defendió también una explicación climática. «Debe de haber habido alguna causa física para este gran cambio», observó en 1876. «Tal causa la encontramos en el gran y reciente cambio físico conocido como "época glacial".»[13] Pero luego cambio de opinión. «Tras examinar nuevamente la cuestión —escribe en su último libro, *The World of Life*—, estoy convencido de que ... la rapidez de la extinción de tantos grandes mamíferos se debe en realidad a la acción del hombre». Todo aquello, decía, resultaba «muy obvio».[14]

Desde Lyell, se le ha dado muchas vueltas a la cuestión, que tiene implicaciones que van mucho más allá de la paleobiología. Si el cambio climático causó la extinción de la megafauna, tenemos una razón más para preocuparnos de lo que estamos haciendo con las temperaturas globales. Si, por otro lado, debemos culpar a los humanos (y cada vez parece más probable que sea así), las implicaciones son más perturbadoras incluso. Significaría que el actual evento de extinción comenzó ya en plena edad de hielo. Significaría que los humanos hemos cazado en exceso (o, por usar un término algo más técnico, hemos sobrecazado) básicamente desde siempre.



*Diprotodon optatum* fue el mayor marsupial de todos los tiempos. AFP/Getty Images/ Newscom.

Hay toda una serie de indicios que respaldan (o más bien condenan) a los humanos como mejor explicación. Uno de ellos concierne a la coincidencia en el tiempo. La extinción de la megafauna, hoy ya no cabe duda, no se produjo de golpe, como Lyell y Wallace habían creído, sino en pulsos. El primer pulso, hace unos 40.000 años, acabó con los gigantes australianos. Un segundo pulso golpeó América del Norte y del Sur unos 20.000 años más tarde. Los lémures gigantes, hipopótamos enanos y aves elefante de Madagascar sobrevivieron hasta la Edad Media, y las moas de Nueva Zelanda hasta el Renacimiento.

Se hace difícil compaginar una secuencia así con un único cambio climático. La secuencia de los pulsos y la secuencia del establecimiento de los humanos, en cambio, se alinean casi a la perfección. Los indicios arqueológicos muestran que los humanos llegaron primero a Australia,

hace unos 50.000 años. Sólo mucho más tarde alcanzaron el continente americano, y sólo miles de años después llegaron a Madagascar y Nueva Zelanda.

«Cuando se coteja críticamente la cronología de la extinción con la cronología de las migraciones humanas —escribe Paul Martin, de la Universidad de Arizona, en "Prehistoric Overkill", su artículo pionero sobre el tema—, la llegada del hombre se alza como única respuesta razonable» para la desaparición de la megafauna.[15]

En un tono parecido, Jared Diamond ha observado: «Personalmente, no puedo imaginar que los gigantes de Australia hubieran sobrevivido a innumerables sequías durante las decenas de millones de años de historia australiana, y luego decidieran caer todos muertos casi al mismo tiempo y, casualmente, justo cuando llegaban los primeros humanos».[16]

Además de la cronología, hay fuertes indicios físicos que apuntan a los humanos. Una parte de ellos se encuentra en forma de excrementos.

Los megaherbívoros generan megacantidades de excremento, como bien sabrá cualquiera que haya pasado un rato detrás de un rinoceronte. El estiércol proporciona sustento a unos hongos conocidos como *Sporormiella*. Las esporas de *Sporormiella* son bastante pequeñas, casi invisibles a simple vista, pero muy duraderas. Todavía pueden identificarse en sedimentos que quedaron sepultados hace decenas de miles de años. Una gran cantidad de esporas indica una gran cantidad de herbívoros mascando y defecando alegremente; pocas esporas o ninguna sugiere su ausencia. Hace un par de años, un equipo de investigadores analizó un testigo de sedimento de un lugar llamado Lynch's Crater, en el noreste de Australia. Encontraron que hace 50.000 años, los recuentos de *Sporormiella* en el área eran elevados. Luego, de forma

bastante abrupta, hace unos 41.000 años los recuentos de *Sporormiella* cayeron casi hasta cero.[17] Tras la caída, el paisaje comenzó a quemarse. (Los indicios en este caso eran minúsculos granos de carbón vegetal.) Después, la vegetación de la región cambió del tipo de plantas que se encuentran en una selva lluviosa a plantas más adaptadas a climas secos, como las acacias.

Si el clima llevó a la megafauna a la extinción, el cambio de vegetación debería *preceder* la caída de *Sporormiella*: primero habría cambiado el paisaje, luego los animales que dependen de la vegetación original habrían desaparecido. Pero había ocurrido justo lo contrario. El equipo llegó a la conclusión de que la única explicación que se ajustaba a los datos era la sobrecaza o «*overkill*». Los recuentos de *Sporormiella* cayeron antes de que se produjeran los cambios en el paisaje porque fue la muerte de la megafauna lo que causó los cambios en el paisaje. A falta de grandes herbívoros que consumieran el bosque, comenzó a acumularse combustible, lo que condujo a un régimen de incendios más frecuentes e intensos. Esto, a su vez, empujó a la vegetación hacia especies más tolerantes al fuego.

La extinción de la megafauna de Australia «no podía haber sido causada por el clima», me dijo Chris Johnson, un ecólogo de la Universidad de Tasmania y uno de los autores principales del estudio, cuando hablamos por teléfono desde su oficina de Hobart. «Creo que podemos afirmarlo categóricamente.»

Más evidentes aún son los indicios recogidos en Nueva Zelanda. Cuando los maoríes llegaron a Nueva Zelanda, más o menos en tiempos de Dante, encontraron nueve especies de moa en las islas Norte y Sur. Para cuando llegaron los europeos, a principios del siglo XIX, ya no pudieron ver ni una sola moa. Todo lo que quedaba eran grandes yacimientos de huesos de moa, así como los restos

de grandes hornos de exterior, unas enormes barbacoas de grandes aves. Un estudio reciente llegó a la conclusión de que las moas fueron eliminadas probablemente en cuestión de décadas. Queda en el lenguaje maorí una expresión que se refiere, indirectamente, a la masacre: *Kua ngaro i te ngaro o te moa*. «Perdido como se perdió la moa.»

Los investigadores que siguen empeñados en creer que el cambio climático mató la megafauna alegan que la certeza de Martin, Diamond y Johnson es engañosa. Desde su punto de vista, nada ha sido demostrado sobre el evento, ni «categóricamente» ni de ningún otro modo, y todo lo escrito en los párrafos precedentes está muy simplificado. Las fechas de las extinciones no están perfectamente delimitadas; no se alinean de una manera exacta con las migraciones humanas; y, en cualquier caso, correlación no implica causación. Lo que quizá sea más profundo es que dudan sobre la premisa de la capacidad de matar de los humanos antiguos. ¿Cómo podrían unos pequeños grupos de gentes tecnológicamente primitivas haber acabado con tantos animales grandes, fuertes y, en algunos casos, feroces en un área del tamaño de Australia o América del Norte?

John Alroy, un paleobiólogo americano que actualmente trabaja en la Universidad Macquarie de Australia, ha pasado mucho tiempo reflexionando sobre esta cuestión, que él considera matemática. «Un mamífero de gran tamaño vive en el límite de su capacidad reproductora», me dijo. «El periodo de gestación de un elefante, por ejemplo, es de veintidós meses. Los elefantes no tienen más que una cría y tardan más de quince años en comenzar a reproducirse. Éstas son restricciones muy severas sobre lo rápido que pueden reproducirse, incluso en el caso de que

todo lo demás vaya muy bien. La razón de que puedan vivir es que cuando alcanzan cierto tamaño escapan a la depredación. Ya no son vulnerables a ser atacados. Es una estrategia terrible desde el punto de vista reproductivo, pero una gran estrategia desde el punto de vista de evitar la depredación. Sin embargo esa ventaja desaparece completamente cuando aparecen los humanos, pues por grande que sea un animal, no tenemos ninguna restricción sobre lo que podemos comer». Éste es otro ejemplo de cómo un *modus vivendi* que funcionó durante muchos millones de años, de golpe puede fallar. Como los graptolitos en forma de «V» o los amonites o los dinosaurios, la megafauna no hacía nada mal; lo único que ocurrió es que aparecieron los humanos y cambiaron «la reglas del juego de la supervivencia».

Alroy ha usado modelos de simulación para testar la hipótesis de la «matanza en exceso».[18] Lo que descubrió es que los humanos podrían haber acabado con la megafauna con sólo un esfuerzo moderado. «Si hay una especie que proporciona un rendimiento sostenible, se puede permitir que otra especie se extinga sin que los humanos se mueran de hambre», observó. Por ejemplo, en América del Norte, los ciervos de cola blanca tienen una tasa reproductora relativamente alta y, por lo tanto, probablemente siguieron siendo abundantes cuando el número de mamuts descendió: «El mamut se convirtió en un alimento de lujo, algo que se disfruta de vez en cuando, como una gran trufa».

Cuando Alroy realizó las simulaciones para América del Norte, encontró que incluso una pequeña población inicial de humanos (un centenar de individuos, más o menos) podía, a lo largo de un milenio o dos, multiplicarse lo bastante para explicar prácticamente todas las extinciones registradas. Ése era el caso incluso cuando se suponía que

los humanos eran unos cazadores regulares. Todo lo que tenían que hacer era cazar un mamut o un perezoso gigante de vez en cuando, en el momento en que se les presentara la oportunidad, y mantener ese ritmo durante varios siglos. Eso habría bastado para empujar la población de una especie de reproducción lenta primero a un declive y luego, con el tiempo, a la extinción. Cuando Chris Johnson hizo unas simulaciones parecidas para Australia, obtuvo resultados similares: si cada grupo de diez cazadores matase solamente un diprotodonte al año, en el plazo de unos setecientos años habría desaparecido todo diprotodonte en un radio de varios cientos de kilómetros. (Como es probable que distintas partes de Australia fuesen cazadas en distintos momentos, Johnson estima que la extinción en el continente llevó varios miles de años.) Desde una perspectiva de historia de la Tierra, varios cientos o varios miles de años es prácticamente nada. Desde una perspectiva humana, sin embargo, es una inmensidad. Para quienes estuvieron implicados en el declive de la megafauna, debió ser un proceso lento, imperceptible. No habrían tenido manera de saber que cientos de años antes, los mamuts y los diprotodontes habían sido mucho más abundantes. Alroy ha descrito la extinción de la megafauna como una «catástrofe ecológica geológicamente instantánea pero demasiado gradual para que pudieran percibirla quienes la desataron», y que demuestra que los humanos «somos capaces de llevar a la extinción prácticamente a cualquier especie de gran mamífero, aunque también seamos capaces de hacer todo lo posible porque eso no pase».[19]

Suele decirse que el Antropoceno comenzó con la revolución industrial, o incluso más tarde, con el crecimiento explosivo de la población que siguió a la segunda guerra mundial. Según esta visión, los humanos

sólo nos hemos convertido en fuerzas capaces de alterar el mundo gracias a la introducción de las modernas tecnologías, como las turbinas, los ferrocarriles y las motosierras. Pero la extinción de la megafauna sugiere que no es así. Antes de que los humanos aparecieran en escena, ser grande y reproducirse lentamente era una estrategia de gran éxito, y los animales de enorme tamaño dominaban el planeta. Pero entonces, en lo que no pasa de ser un instante geológico, esta estrategia se convirtió en perdedora. Sigue siéndolo en la actualidad, y por eso los elefantes, los osos o los grandes felinos lo pasan tan mal y Suci es uno de los últimos rinocerontes de Sumatra que quedan en el mundo. Por otro lado, eliminar la megafauna no eliminó simplemente a la megafauna; en Australia al menos desencadenó una cascada ecológica que transformó el paisaje. Aunque sea bonito imaginar que hubo un tiempo en que el hombre vivía en armonía con la naturaleza, no está claro que eso haya pasado nunca.

## 12

# El gen de la locura

*Homo neanderthalensis*

El valle de Neander o, en alemán, DAS NEANDERTAL, se encuentra a unos 30 kilómetros de Colonia, siguiendo el plegamiento por el que discurre el río Düssel, un soñoliento afluente del Rin. Durante la mayor parte de su existencia, el valle ha estado flanqueado por acantilados calizos, y fue en una cueva situada en uno de estos acantilados donde, en 1856, se descubrieron los huesos que dieron al mundo a los Neandertales. En la actualidad, el valle es una suerte de parque temático del Paleolítico. Además del Museo Neandertal, un edificio sorprendentemente moderno con paredes de vidrio de color verde botella, hay cafés que venden cerveza marca Neandertal, jardines plantados con las especies de arbustos que florecían durante la edad de hielo, y senderos de excursión que conducen al lugar donde se descubrieron los huesos, aunque los huesos, la cueva e incluso los acantilados ya no están allí. (La caliza fue explotada y extraída en forma de bloques para la construcción.) Justo a la entrada del museo, en el interior, se yergue un modelo de un anciano neandertal apoyado en un palo que nos sonríe benignamente. Parece un desaliñado Yogi Berra.* Junto a él se encuentra una de las atracciones más populares del museo: una cabina llamada Estación de Transformación. Por tres euros, los visitantes pueden obtener una foto de perfil y, al lado de ésta, una segunda

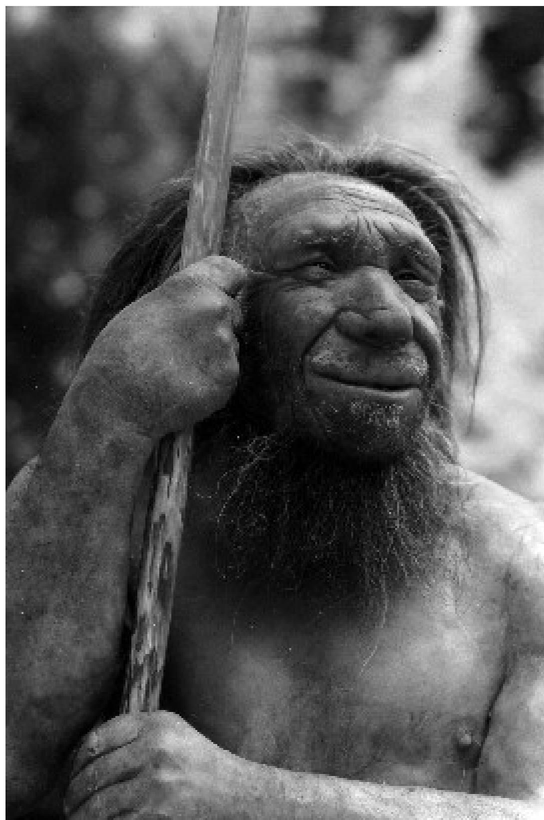
foto que ha sido manipulada. En la foto manipulada, la barbilla se retira, la frente se inclina y la parte posterior de la cabeza sobresale. A los niños les encanta verse a sí mismos (o, mejor aún, a sus hermanos) transformados en neandertales. Les hace gritar de excitación.

Desde el descubrimiento del valle de Neander, han aparecido huesos de neandertal por toda Europa y Oriente Medio. Se han encontrado hacia el norte hasta Gales, hacia el sur hasta Israel y hacia el este hasta el Cáucaso. También se han desenterrado numerosas herramientas de neandertales, entre ellas hachas de mano en forma de almendra, raspadores con filo de cuchillo y puntas de piedras que posiblemente se usaran como puntas de lanza. Las herramientas se utilizaban para cortar carne, afilar madera y, supuestamente, también para preparar las pieles. Los neandertales vivieron en Europa al menos 100.000 años. Durante casi todo ese tiempo, el clima fue frío y, en varios periodos, intensamente frío, con Escandinavia cubierta por los hielos. Se cree, aunque no se sabe con certeza, que, para protegerse, los neandertales construían refugios y se hacían algún tipo de ropa. Luego, hace unos 30.000 años, los neandertales desaparecieron.

Se ha propuesto todo tipo de teorías para explicar su desaparición. A menudo se invoca el clima, a veces en forma de una inestabilidad general que condujo a lo que en los círculos de las ciencias de la Tierra se conoce como Último Máximo Glacial, y otras veces en forma de un «invierno volcánico» aparentemente producido por una inmensa erupción no muy lejos de Isquia, en el área conocida como Campos Flégreos. También se le echa la culpa a las enfermedades, o simplemente a la mala suerte. Sin embargo, en décadas recientes se ha hecho cada vez más claro que los neandertales siguieron el destino del *Megatherium*, el mastodonte americano, y de tantos otros

desafortunados miembros de la megafauna. En otras palabras, tal como me lo expresó un investigador, «su mala suerte fuimos nosotros».

Los humanos modernos llegaron a Europa hace unos 40.000 años, y una y otra vez el registro arqueológico nos muestra que en cuanto alcanzaban una región en la que habitaban los neandertales, éstos desaparecían de la región. Quizá eran perseguidos, quizá simplemente eliminados por competencia. Sea como fuere, su declive se ajusta a la conocida pauta, pero con una importante (e inquietante) diferencia.



Museo del Neandertal.

Antes de que los humanos finalmente acabaran con los neandertales, tuvieron sexo con ellos. A consecuencia de esta interacción, la mayoría de las personas vivas en la

actualidad son ligeramente neandertales (hasta un 4%). Una camiseta que está a la venta cerca de la Estación de Transformación pone en esta herencia el acento más optimista posible. ICH BIN STOLZ, EIN NEANDERTHALER ZU SEIN, declara en grandes letras mayúsculas («Orgulloso de ser un neandertal»). Me gustó tanto la camiseta que compré una para mi marido, aunque me he dado cuenta de que casi nunca se la pone.

El Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva se encuentra a casi 500 kilómetros al este del valle de Neander, en la ciudad de Leipzig. El instituto ocupa un flamante edificio nuevo con una forma que recuerda un plátano y destaca en un barrio que todavía lleva el sello del pasado de la ciudad en la Alemania oriental. Justo al norte hay un bloque de apartamentos de estilo soviético. Al sur hay una gran mansión con un torreón con aguja dorada que solía conocerse como Pabellón Soviético (y que ahora está vacío). En la entrada del instituto hay una cafetería y una exposición sobre los grandes simios. En la cafetería, un televisor muestra en directo los orangutanes del zoo de Leipzig.

Svante Pääbo dirige el departamento de genética evolutiva del instituto. Es un hombre alto y desgarbado, con el rostro largo, el mentón estrecho y las cejas pobladas, que levanta con frecuencia para añadir énfasis a algún tipo de ironía. La oficina de Pääbo está dominada por dos figuras. Una de ellas es del propio Pääbo, un retrato de tamaño más grande que el real, que sus estudiantes de doctorado le regalaron para su cincuenta cumpleaños. (Cada estudiante pintó una parte del retrato, y el efecto global es de un sorprendente parecido, pero con colores discordantes que hacen pensar que padece una enfermedad de la piel.) La

otra figura es un neandertal, un modelo de esqueleto de tamaño real sostenido de manera que sus pies cuelgan por encima del suelo.

Pääbo, que es sueco, es considerado a veces como el «padre de la paleogenética». Más o menos inventó el estudio del ADN antiguo. Sus primeros trabajos, como estudiante de doctorado, abordaron la extracción de información genética de la carne de las momias egipcias. (Quería conocer los grados de parentesco entre faraones.) Más adelante dirigió su atención a los tigres de Tasmania y a los perezosos gigantes. Extrajo ADN de los huesos de mamuts y moas. Todos estos proyectos fueron pioneros en su día, pero todos pueden verse ahora como ejercicios de calentamiento para el actual proyecto de Pääbo, de una extravagante ambición: secuenciar el genoma entero de los neandertales.

Pääbo anunció el proyecto en 2006, justo a tiempo para el 150 aniversario del descubrimiento original de los neandertales. Para entonces, ya se había publicado una versión completa del genoma humano. Pero los humanos, los chimpancés, los ratones y las ratas son, por supuesto, organismos vivos. Secuenciar a los muertos es mucho más difícil. Cuando un organismo expira, su material genético comienza a descomponerse, de modo que en lugar de largas cadenas de ADN, todo lo que queda, en las mejores circunstancias, son fragmentos. Intentar averiguar cómo encajan todos los fragmentos es un poco como intentar reconstruir la guía telefónica de Manhattan a partir de páginas que pasaron por una trituradora de papel, se mezclaron con la basura del día anterior y acabaron descomponiéndose en un vertedero.

Cuando el proyecto haya acabado, debería ser posible confrontar el genoma humano y el genoma neandertal al nivel de los pares de bases y ver dónde divergen. Los

neandertales son extraordinariamente parecidos a los humanos modernos; probablemente fuesen nuestros parientes más cercanos. Sin embargo, claramente *no* eran humanos. En algún lugar de nuestro ADN debe haber una mutación clave (o probablemente, más de una) que nos diferencia de ellos: las mutaciones que nos convierten en el tipo de animal capaz de acabar con su pariente más cercano, y más tarde desenterrar sus huesos y reconstruir su genoma.

«Quiero saber qué cambio en los humanos totalmente modernos, en comparación con los neandertales, explica las diferencias», me dijo Pääbo. «¿Qué hizo que nosotros fuésemos capaces de construir enormes sociedades, expandirnos por todo el globo, desarrollar la tecnología que creo que nadie puede dudar que sea exclusivamente humana? Tiene que haber una base genética para todo eso, y se esconde en algún lugar en estas listas.»

Los huesos del valle de Neander fueron hallados por trabajadores de una cantera que los trataron como basura. Es posible que se hubieran perdido sin remedio si el dueño de la cantera no se hubiera enterado del hallazgo e insistido en que se conservasen los restos: una calavera, una clavícula, cuatro huesos del brazo, dos fémures, partes de cinco costillas y media pelvis. Convencido de que los huesos pertenecían a un oso de las cavernas, el propietario de la cantera se los dio a un maestro de escuela, Johann Carl Fuhlrott, que en sus ratos libres se dedicaba a los fósiles. Fuhlrott se dio cuenta de que se estaba enfrentando a algo a un tiempo más extraño y más familiar que un oso. Declaró que aquellos restos eran de un «miembro primitivo de nuestra raza».

Casualmente, todo esto ocurría más o menos al mismo tiempo que Darwin publicaba *El origen de las especies*, de modo que los huesos no tardaron en introducirse en el debate sobre el origen de los humanos. Quienes se oponían a la evolución rechazaban las afirmaciones de Fuhlrott, alegando que aquellos huesos pertenecían a una persona normal y corriente. Una teoría proponía que se trataba de un cosaco que habría entrado en la región durante el tumulto que siguió a las guerras napoleónicas. La razón de que los huesos tuvieran un aspecto extraño (los fémures de los neandertales tienen una curvatura característica) era que el cosaco había pasado demasiado tiempo encima de su caballo. Otra atribuía los restos a un hombre afectado de raquitismo: aquel hombre habría sentido tanto dolor a causa de su enfermedad que habría mantenido la frente constantemente tensa, de ahí que tuviera el arco superciliar protuberante. (Lo que nunca se llegó a explicar es qué hacía un hombre con raquitismo escalando unos acantilados para meterse en una caverna.)

A lo largo de las décadas siguientes, no pararon de aparecer nuevos huesos como los del valle de Neander, más gruesos que los de los humanos modernos y con el cráneo de una forma peculiar. Era evidente que todos aquellos hallazgos no podían explicarse con cuentos de cosacos desorientados o espeleólogos raquíticos. Pero aquellos huesos también dejaban perplejos a los evolucionistas. Los neandertales tenían un cráneo muy grande, más que la media de los humanos modernos. Esto hacía que fuesen difíciles de encajar en una historia que comenzaba con los simios de cerebro pequeño y conducía progresivamente a los victorianos de cerebro grande. En *El origen del hombre*, que se publicó en 1871, Darwin alude a los neandertales

sólo de pasada. «Debemos admitir que algunos cráneos de gran antigüedad, como el célebre de Neandertal, están bien desarrollados y tienen una gran capacidad», escribe.[1]

A un tiempo humanos y no humanos, los neandertales representan un contraste con nosotros mismos, y mucho de lo que se ha escrito sobre ellos desde *El origen del hombre* refleja lo extraño de esta relación. En 1908 se descubrió un esqueleto casi completo en una caverna de La Chapelle-aux-Saints. Los restos acabaron en manos de un paleontólogo llamado Marcellin Boule, del Museo de Historia Natural del París. En una serie de monografías, Boule inventó lo que podríamos llamar la versión «pero mira que llegas a ser neandertal» de los neandertales: piernas arqueadas, cuerpo encorvado y aspecto de bruto.[2] Los huesos de los neandertales, escribió Boule, exhibían una «disposición nítidamente simiesca», en tanto que la forma de su cráneo indicaba «la predominancia de funciones puramente vegetativas o bestiales».[3] El ingenio, las «sensibilidades artísticas y religiosas» y la capacidad para el pensamiento abstracto quedaban claramente, a decir de Boule, fuera del alcance de aquellos brutos cejijuntos. Las conclusiones de Boule fueron estudiadas y repetidas por muchos de sus contemporáneos; por ejemplo, el antropólogo británico sir Grafton Elliot Smith decía de los neandertales que caminaban «medio encorvados» sobre unas «piernas peculiarmente desgarbadas». (Smith también afirmó que la «falta de atractivo» de los neandertales quedaba «aumentada por greñas de pelo que le cubrían casi todo el cuerpo», aunque no había ninguna prueba física que sugiriera que fuesen peludos (ni todavía la hay).



Un neandertal, según un dibujo de 1909. © Paul D. Stewart/NPL/Minden Pictures.

En los años cincuenta, un par de anatomistas, William Straus y Alexander Cave, decidieron examinar de nuevo el esqueleto de La Chapelle. La segunda guerra mundial (por no hablar de la primera) había puesto de manifiesto la clase de brutalidad de que eran capaces la mayoría de los humanos modernos, así que los neandertales se merecían una revaluación. Lo que Boule había tomado por la postura natural de los neandertales, Straus y Cave decidieron que probablemente fuese resultado de la artritis. Los neandertales no caminaban encorvados o con las rodillas flexionadas. De hecho, con un buen afeitado y un traje nuevo, señalaron ambos investigadores, un neandertal probablemente no llamaría más la atención en el metro de Nueva York que «algunos de sus otros habitantes».[4] Estudios académicos más recientes apoyan la idea de que

los neandertales, aunque no necesariamente pudieran pasar desapercibidos en el transporte urbano, ciertamente caminaban erguidos, con una forma de caminar que reconoceríamos más o menos como nuestra.

En los años sesenta, un arqueólogo americano llamado Ralph Solecki descubrió los restos de varios neandertales en una cueva del norte de Irak. Uno de ellos, conocido como Shanidar I, o Nandy para abreviar, había sufrido una grave lesión en la cabeza que probablemente lo había dejado al menos parcialmente ciego. Sus heridas habían sanado, lo que sugería que lo habían cuidado otros miembros de su grupo social. Otro de ellos, Shanidar IV, aparentemente había sido sepultado, y los resultados de un análisis del suelo en el lugar de la sepultura convencieron a Solecki de que Shanidar IV había sido enterrado con flores. Tomó esto como indicio de una profunda espiritualidad neandertal.

«Nos hemos dado cuenta de golpe de la universalidad de la humanidad y el amor a la belleza, que traspasan los límites de nuestra propia especie», escribió en un libro acerca de su descubrimiento, *Shanidar: The First Flower People*.[5] Algunas de las conclusiones de Solecki han sido contestadas desde entonces (parece más probable que las flores las hubieran llevado a la tumba unos roedores subterráneos que unos parientes compungidos), pero sus ideas tuvieron una gran influencia, y los neandertales que se exhiben hoy en el valle de Neander son casi humanos y llenos de sentimiento. En los dioramas del museo, los neandertales viven en tipis, se visten con algo parecido a unos pantalones de yoga y miran contemplativamente el gélido paisaje. «El hombre de Neandertal no era un Rambo prehistórico», advierte una de las notas de la exposición. «Era un individuo inteligente.»



Un neandertal afeitado y trajeado. Museo del Neandertal.

El ADN suele compararse con un texto, una comparación que vale siempre que la definición de «texto» incluya escritura que no tenga ningún sentido. El ADN está formado por moléculas conocidas como nucleótidos unidas en forma de escalera, la famosa doble hélice. Cada nucleótido contiene una de un total de cuatro bases: adenina, timina, guanina y citosina, que se designan con las letras *A*, *T*, *G* y *C*, de manera que un segmento del genoma humano podría estar representado por *ACCTCCTCTAATGTCA*. (Ésta es una secuencia real, del cromosoma 10; la secuencia comparable en un elefante es *ACCTCCCCTAATGTCA*.) El genoma humano contiene 3.000 millones de bases (o, en realidad, de pares de bases). Por lo que sabemos, la mayor parte no codifica nada.

El proceso que convierte las largas hebras de ADN de un organismo en fragmentos, de un «texto» en algo más parecido al confeti, comienza prácticamente en el momento en que muere el organismo. Buena parte de la destrucción se completa durante las primeras horas después de la muerte, y la provocan enzimas del interior del propio cuerpo del organismo. Al cabo de un tiempo, todo lo que quedan son trozos, y más tarde (cuánto más depende de las condiciones en que se produce la descomposición) también esos trozos se desintegran. Una vez ocurre esto, no queda nada con lo que pueda trabajar ni el más obstinado de los paleontólogos. «Tal vez en el permafrost se pueda ir atrás unos 500.000 años», me dijo Pääbo. «Pero desde luego es menos de un millón.» Hace 500.000 años, los dinosaurios llevaban muertos unos 65 millones de años, así que, tristemente, toda la fantasía de *Parque jurásico* no es más que eso. Por otro lado, hace 500.000 años los humanos modernos todavía no existían.

Para el proyecto genoma, Pääbo consiguió reunir veintiún huesos de neandertal que se habían encontrado en una cueva de Croacia. (Para extraer el ADN, Pääbo, o cualquier otro paleogenetista, tiene que cortar muestras del hueso y disolverlas, un proceso que, por razones bastante obvias, museos y coleccionistas de fósiles dudan en autorizar.) Sólo tres de estos huesos proporcionaron ADN de neandertal. Para acabar de complicar las cosas, ese ADN estaba mezclado con ADN de microorganismos que habían estado atacando los huesos durante los últimos 30.000 años, lo que significaba que la mayor parte del esfuerzo de secuenciación iba a ser inútil. «Había momentos que eran para desesperarse», me confesó Pääbo. En cuanto se resolvía una dificultad, aparecía otra. «Fue una auténtica

montaña rusa emocional», recordaba Ed Green, un ingeniero biomolecular de la Universidad de California en Santa Cruz, que trabajó en el proyecto durante varios años.

El proyecto por fin estaba dando resultados (esencialmente, largas listas de *A*, *T*, *G* y *C*), cuando uno de los miembros del equipo de Pääbo, David Reich, un genetista de Harvard Medical School, observó algo extraño. Las secuencias de neandertal eran, como ya se esperaba, muy parecidas a las secuencias humanas. Pero se parecían más a unos humanos que a otros. En concreto, los europeos y los asiáticos compartían más ADN con los neandertales que los africanos. «Intentamos refutar este resultado», me dijo Reich. «Pensamos: "Aquí tiene que haber un error".»

Durante los últimos veinticinco años, más o menos, el estudio de la evolución humana ha estado dominado por la teoría conocida en la prensa popular como «Fuera de África» y en los círculos académicos como hipótesis del «origen único reciente» o de «sustitución». Esta teoría sostiene que todos los humanos modernos descendieron de una pequeña población que vivía en África hace aproximadamente 200.000 años. Hace unos 120.000 años, una parte de esa población migró hacia Oriente Medio, y de allí, con el tiempo, otros grupos fueron avanzando hacia el norte de Europa, hacia el este en Asia, y por todo el sureste hasta Australia. A medida que se desplazaban hacia el norte y el este, los humanos modernos se fueron encontraron con neandertales y otros de los llamados humanos arcaicos, que ya habitaban aquellas regiones. Los humanos modernos «sustituyeron» a los humanos arcaicos, que es una forma bonita de decir que los empujaron a la extinción. Este modelo de migración y «sustitución» implica que la relación entre los neandertales y los humanos debería ser la misma para todas las personas vivas en la actualidad, indistintamente de donde procedan.

Muchos miembros del equipo de Pääbo sospechaban que el sesgo eurasiático era una señal de contaminación. En diversos momentos, las muestras habían sido manipuladas por europeos y asiáticos que quizá habían mezclado algo de su propio ADN con el del neandertal. Para descartar esta posibilidad se realizaron varios test, pero todos resultaron negativos. «Seguíamos viendo el patrón, y cuantos más datos recogíamos, más sólido era desde un punto de vista estadístico», dijo Reich. Poco a poco, los otros miembros del equipo fueron cambiando de opinión. En un artículo publicado en *Science* en mayo de 2010, introdujeron lo que Pääbo denomina hipótesis de la «sustitución permeable».[6] (El artículo fue posteriormente votado como el más destacado de la revista para aquel año, y el equipo recibió un premio de 25.000 dólares.) Antes de que los humanos modernos «sustituyeran» a los neandertales, tuvieron sexo con ellos, y aquellos encuentros produjeron hijos que contribuyeron a poblar Europa, Asia y el Nuevo Mundo.

La hipótesis de la sustitución permeable (suponiendo por el momento que sea correcta) proporciona los indicios más fuertes posibles de la cercanía entre neandertales y hombres modernos. Quizá no se enamorasen, pero hicieron el amor. No sabemos si sus hijos híbridos fueron vistos como monstruos; en cualquier caso alguien los cuidó, tal vez los neandertales al principio, tal vez los humanos. Algunos de aquellos híbridos sobrevivieron y tuvieron hijos propios que, a su vez, tuvieron hijos, y así sucesivamente hasta nuestros días. Hoy incluso, más de 30.000 años después del hecho, la señal es discernible: todos los no africanos, desde los neoguineanos a los franceses o los chinos de la etnia han, llevan entre un 1 y un 4% de ADN neandertal.

Una de las palabras inglesas que más le gusta a Pääbo es «*cool*» (genial). Cuando finalmente aceptó la idea de que los neandertales habían legado algunos de sus genes a los humanos modernos, me dijo: «Me pareció genial. Significa que no se han extinguido del todo, que todavía viven un poco dentro de nosotros».

El zoo de Leipzig está al otro lado de la ciudad respecto al Instituto de Antropología Evolutiva, pero el instituto tiene su propio edificio de laboratorios en el recinto del zoo, así como salas de pruebas especialmente diseñadas dentro de la casa de los simios, conocida como Pongoland.* Como ninguno de nuestros parientes más cercanos ha sobrevivido (si no es en pequeños fragmentos en nuestro interior), los investigadores tienen que conformarse con nuestros siguientes parientes más cercanos, los chimpancés y los bonobos, y otros algo más lejanos, como los gorilas y los orangutanes, para realizar experimentos en vivo. (Los mismos experimentos, o al menos análogos, se realizan también en niños pequeños a modo de comparación.) Una mañana fui al zoo con la esperanza de presenciar un experimento mientras se realizaba. Aquel día, un equipo de la BBC también estaba visitando Pongoland para filmar un programa sobre inteligencia animal, y cuando llegué a la casa de los simios la encontré repleta de cajas para cámaras con la etiqueta ANIMAL EINSTEINS.

Un investigador llamado Héctor Marín Manrique estaba representando para las cámaras una serie de experimentos que había realizado anteriormente con un espíritu más puramente científico. Una hembra de orangután llamada Dokana fue conducida hasta una de las salas de pruebas. Como la mayoría de los orangutanes, tenía el pelaje cobrizo y la expresión de quien está de vuelta de todo. En el primer

experimento, que se realizaba con un zumo rojo y unos finos tubos de plástico, Dokana demostró que podía distinguir entre una paja de beber funcional y una que no funciona. En el segundo, en el que había más zumo y más plástico, demostró que entendía la *idea* de una paja al extraer un cilindro sólido del interior de un tubito y usar el tubo, ahora vacío, para beber por él. Por último, en una demostración del ingenio póngido digna de Mensa,* Dokana consiguió hacerse con un cacahuete que Manrique había colocado en el fondo de un largo cilindro de plástico. (El cilindro estaba fijado a la pared, de manera que no podía volcarlo.) Dokana caminó sobre los nudillos hasta donde tenía el agua de beber, tomó un poco en la boca, dio la vuelta sobre los nudillos y escupió el agua en el interior del cilindro. Repitió este proceso hasta que el cacahuete flotó a su alcance. Más tarde vi cómo el equipo de la BBC repetía el mismo experimento con niños de cinco años usando pequeños contenedores con golosinas en lugar de cacahuetes. Aunque cerca y muy a la vista habían colocado una regadera, sólo uno de los niños (de hecho, una niña) consiguió llegar a considerar la opción del agua, y sólo después de cuestionarse bastantes cosas. («¿Cómo podría ayudarme el agua?», se preguntaba angelicalmente uno de los niños, justo antes de darse por vencido.)

Una de las maneras de intentar responder a la pregunta de «¿Qué nos hace humanos?» es preguntar «¿Qué nos hace diferentes de los grandes simios?», o, para ser más precisos, de los simios no humanos, puesto que, naturalmente, los humanos *somos* simios. Como ahora saben casi todos los humanos, y como los experimentos con Dokana confirman una vez más, los simios no humanos son extremadamente listos. Son capaces de hacer inferencias, resolver complejos rompecabezas y entender lo que probablemente saben (o no saben) otros simios. Cuando

unos investigadores de Leipzig realizaron una batería de pruebas con chimpancés, orangutanes y niños de dos años y medio, hallaron que el desempeño de chimpancés, orangutanes y niños era comparable para un amplio abanico de tareas que implicaban comprender el mundo físico.[7] Por ejemplo, si un experimentador colocaba una recompensa en el interior de sólo uno de tres vasos, que luego movía como un trilero, los simios daban con el premio con la misma frecuencia que los niños (y, en el caso de los chimpancés, con más frecuencia). Los simios parecían entender las cantidades tan bien como los niños, pues repetidamente elegían el plato que contenía más golosinas, incluso cuando la elección implicaba utilizar algo que vagamente podríamos calificar de matemáticas; y también parecían tener una comprensión igual de buena sobre la causalidad. (Por ejemplo, los chimpancés entendían que un vaso que hacía ruido al sacudirse era más probable que contuviera alimentos que otro que no lo hacía.) Y mostraban la misma destreza en la manipulación de herramientas simples.

Donde los niños siempre superaban a los simios era en tareas que implicaban leer señales sociales. Cuando a los niños se les daba una pista sobre dónde encontrar una recompensa (por ejemplo, alguien señalaba o miraba el contenedor donde estaba), la encontraban. Los simios o bien no entendían que se les estaba ofreciendo ayuda, o no sabían seguir la pista. De manera parecida, cuando se mostraba a los niños cómo obtener una recompensa, por ejemplo rasgando una caja de cartón, no tenían problema en comprenderlo e imitarlo. Los simios, en cambio, se quedaban perplejos. Es cierto que los niños gozaban de una gran ventaja en el ámbito social, puesto que los experimentadores pertenecían a su propia especie. Pero, en

general, a los simios parecía faltarles el impulso hacia la resolución colectiva de problemas que ocupa un lugar tan importante en la sociedad humana.

«Los chimpancés hacen un montón de cosas increíblemente inteligentes», me dijo Michael Tomasello, que dirige el departamento de psicología comparativa y del desarrollo en el instituto. «Pero la principal diferencia que hemos visto es en “unir nuestras mentes”. Si fueras hoy al zoo, nunca verías dos chimpancés acarreando juntos algo pesado. No tienen este tipo de proyecto colaborativo.»

* * *

Pääbo suele trabajar hasta tarde, y la mayoría de las noches cena en el instituto, donde la cafetería permanece abierta hasta las siete. Una tarde, sin embargo, se ofreció a dejar el trabajo más pronto para enseñarme el centro de Leipzig. Visitamos la iglesia donde está enterrado Bach y acabamos en Auerbachs Keller, el bar adonde Mefistófeles lleva a Fausto en la escena quinta de la obra de Goethe. (Al parecer era el lugar favorito de Goethe para pasar un buen rato cuando estudiaba en la universidad.) Había estado en el zoo el día anterior, y le pregunté a Pääbo sobre un experimento hipotético. Si tuviera la oportunidad de someter a los neandertales al tipo de pruebas que habíamos presenciado en Pongoland, ¿qué harían? ¿Cómo creía que eran? ¿Creía que podían hablar? Se reclinó en su asiento y cruzó los brazos.

«Especular es muy tentador», me dijo. «Así que intento resistirme rechazando preguntas como si creo que hablaban porque, honestamente, no lo sé; en cierto sentido, tú puedes especular tanto fundamento como yo.»

Los muchos yacimientos donde se han hallado restos dan muchas pistas sobre cómo eran los neandertales, al menos para quienes sí están dispuestos a especular. Los

neandertales eran extraordinariamente duros, como atestigua el grosor de sus huesos, y probablemente fueran capaces de hacer añicos a cualquier humano. Sabían fabricar algunas herramientas de piedra, aunque parece que pasaron decenas de miles de años fabricando las mismas una y otra vez. Al menos en algunas ocasiones enterraban a sus muertos. También en ciertas ocasiones parecen haberse matado y comido unos a otros. No sólo Nandy sino muchos esqueletos de neandertales muestran signos de enfermedad o deformidad. El neandertal original del valle de Neander parece que sufrió dos lesiones graves, una en la cabeza y la otra en el brazo izquierdo. El neandertal de La Chapelle, además de artritis, sufrió roturas de costilla y de rótula. Estas lesiones podrían reflejar los rigores de la caza con el limitado repertorio de armas de los neandertales, que al parecer nunca llegaron a desarrollar armas arrojadizas, de manera que se veían obligados a acercarse bastante a sus presas para matarlas. Como Nandy, tanto el neandertal original como el de La Chapelle se recuperaron de sus heridas, lo que significa que los neandertales cuidaban unos de otros, lo que, a su vez, implica cierta capacidad para la empatía. A partir del registro arqueológico, se puede inferir que los neandertales se originaron en Europa o en Asia occidental y se dispersaron desde allí, parándose cuando encontraban agua o algún otro obstáculo de importancia. (Durante la última glaciación, cuando los niveles del mar eran mucho más bajos que en la actualidad, no había que salvar ningún Canal de la Mancha.) Ésta es una de las formas más básicas en que los humanos modernos difieren de los neandertales y, en opinión de Pääbo, una de las más intrigantes. Cuando los humanos modernos viajaron hasta Australia, aunque fuese en medio de una edad de hielo, no había manera de hacer el recorrido sin cruzar aguas abiertas.

Los humanos arcaicos como *Homo erectus* «se dispersaron igual que muchos otros mamíferos del Viejo Mundo», me dijo Pääbo. «Nunca llegaron a Madagascar, y mucho menos a Australia. Tampoco los neandertales. Sólo los humanos plenamente modernos empezaron con esta inquietud de aventurarse por el océano hasta donde no ves tierra. Eso en parte es tecnología, por supuesto; para hacerlo hay que tener barcas. Pero también me gusta pensar o decir qué había en aquello algo de locura. ¿Entiendes qué quiero decir? ¿Cuánta gente debió partir hacia lo desconocido y desaparecer en el Pacífico antes de topar con la isla de Pascua? Es ridículo. Pero ¿por qué lo haces? ¿Es por la gloria? ¿Por la inmortalidad? ¿Por curiosidad? Y ahora nos vamos a Marte. No paramos nunca.»

Si la inquietud faustiana es una de las características definitorias de los humanos modernos, entonces, de acuerdo con lo que me dice Pääbo, debe haber algún tipo de gen faustiano. Varias veces me dijo que debería ser posible identificar la base de nuestra «locura» comparando el ADN de humanos y neandertales. «Si algún día descubrimos que alguna extraña mutación hizo posible la locura humana y la exploración, será increíble pensar que fue esa pequeña inversión en tal o cual cromosoma lo que hizo posible todo esto y cambió el ecosistema entero del planeta e hizo que domináramos sobre todo», me dijo en cierto momento. Y en otro, añadió: «En cierto sentido estamos locos. ¿Qué nos empuja a ello? Eso es algo que realmente me gustaría comprender. Conocerlo sería realmente genial».

Una tarde, cuando entré en su oficina, Pääbo me mostró una fotografía de la parte superior de un cráneo que acababa de descubrir un coleccionista de fósiles aficionado a una media hora de Leipzig. A partir de la fotografía, que

había recibido por correo electrónico, Pääbo había determinado que el cráneo podía ser bastante antiguo. Pensó que podría pertenecer a alguno de los primeros neandertales o incluso a un *Homo heidelbergensis*, que algunos consideran el antepasado común del que descienden tanto los humanos como los neandertales. Había decidido, además, que tenía que ser suyo. El fragmento de cráneo había sido hallado en una laguna de una cantera; tal vez, se le ocurrió, aquellas condiciones lo habían preservado y, si lo conseguía pronto, podría extraerle algo de ADN. Pero el coleccionista ya se lo había prometido a un catedrático de antropología de Mainz. ¿Cómo podía persuadir al catedrático para que le diese un fragmento de hueso suficiente para hacer la prueba?

Pääbo llamó a todas las personas que conocía que pudieran conocer también al catedrático. Hizo que su secretaria se pusiese en contacto con la del profesor a fin de obtener el número de teléfono personal del catedrático, y bromeó, quizá sólo a medias, con que estaría dispuesto a acostarse con él si eso sirviese de algo. El frenesí de llamadas de un lado a otro de Alemania duró más de una hora y media, hasta que Pääbo finalmente habló con uno de los investigadores de su propio laboratorio. El investigador le dijo que había visto el fragmento de cráneo y había llegado a la conclusión de que no era antiguo en absoluto. Pääbo inmediatamente perdió todo interés en él.

humano

**TACACTCACATTTTTTTGCATATTATCTAGTCCCATGACATTA**

neandertal

**TACACTCAATTTTTTTACATATTATCTAGCCCCATGAATTA**

chimpancé

**TACACTCACA-TTTTTACATATTATCTAGTCCCATGACATTA**

Los mismos tramos del cromosoma en el humano, el neandertal y el chimpancé. Por cortesía de Ed Green.

Con los huesos antiguos nunca se sabe qué se va a obtener. Unos años atrás, Pääbo consiguió un trozo de diente de uno de los llamados esqueletos de hobbit que se habían encontrado en la isla de Flores, en Indonesia. Los hobbits, que fueron descubiertos recientemente, en 2004, suelen atribuirse a unos humanos arcaicos diminutos, *Homo floresiensis*. El diente se dató en unos 17.000 años de edad, lo que significa que era sólo la mitad de antiguo que los huesos de los neandertales croatas. Sin embargo, Pääbo no consiguió extraer ADN de ellos.

Alrededor de un año más tarde obtuvo un fragmento de un hueso de un dedo que se había hallado en una cueva del sur de Siberia al lado de un extraño molar de aspecto humano. El hueso del dedo, del tamaño de la goma de borrar de un lápiz, tenía más de 40.000 años. Pääbo dio por hecho que provenía de un humano moderno o de un neandertal. Si resultaba ser lo segundo, el yacimiento sería el más oriental en el que se habían encontrado restos de neandertales. A diferencia del diente del hobbit, el fragmento de dedo proporcionó una cantidad de ADN sorprendentemente grande. Cuando se completaron los análisis de los primeros trozos, Pääbo estaba en Estados Unidos. Llamó a su oficina, y uno de sus colegas le dijo: «¿Estás sentado?». El ADN indicaba que no se trataba de un humano moderno, pero *tampoco* de un neandertal. Su poseedor representaba un grupo de homínidos completamente nuevo y hasta entonces insospechado. En un artículo publicado en diciembre de 2010 en *Nature*, Pääbo dio a este grupo el sobrenombre de denisovanos, por la cueva de Denisova, donde se había encontrado el hueso.[8]

«La prehistoria aceptada se pilla los dedos», decía uno de los titulares sobre el descubrimiento. Curiosamente (o tal vez no, por lo que ya sabemos) parece que los humanos modernos también se cruzaron con los denisovanos, puesto que los neoguineanos llevan hasta un 6% de ADN denisovano. (Por qué los neoguineanos pero no los siberianos o los asiáticos es algo que todavía no queda claro, pero presuntamente tiene algo que ver con los patrones de las migraciones humanas.)

Con el descubrimiento de los hobbits y los denisovanos, los humanos modernos adquirieron dos nuevos hermanos. Pero parece probable que, a medida que se analice el ADN de otros huesos antiguos, nos encontremos con nuevos parientes humanos; Chris Stringer, un destacado paleoantropólogo británico, me lo dijo de este modo: «Estoy seguro de que tendremos más sorpresas».

En este momento, no hay indicios que sugieran qué acabó con los denisovanos o los hobbits; sin embargo, el momento en el tiempo en que se produjo su desaparición y el patrón general de extinciones a finales del Pleistoceno apuntan a un sospechoso evidente. Supuestamente, como estaban estrechamente emparentados con nosotros, tanto los denisovanos como los hobbits tenían un largo periodo de gestación y, por lo tanto, compartían la vulnerabilidad crucial de la megafauna: una baja tasa reproductora. Todo lo que habría hecho falta para llevarlos a la extinción habría sido una presión sostenida que redujera el número de adultos reproductores.

Lo mismo se aplica a nuestros actuales parientes más cercanos, y por eso, con la excepción de los humanos, todos los grandes simios se enfrentan a la extinción. El número de chimpancés salvajes ha caído posiblemente hasta la mitad de los que había hace cincuenta años, y el número de gorilas de montaña ha seguido una trayectoria parecida.

Los gorilas de llanura han disminuido incluso más deprisa; se estima que la población se ha reducido en un 60% sólo en las dos últimas décadas. Las causas de este drástico declive hay que buscarlas en la caza furtiva, las enfermedades y la pérdida de hábitat; esta última se ha visto agravada por varias guerras que han empujado a diversas oleadas de refugiados hacia la reducida área de distribución de los gorilas. Los orangutanes de Sumatra están clasificados como «en peligro crítico de extinción», lo que significa que tienen «un riesgo extremadamente alto de extinguirse en estado silvestre». En este caso, la amenaza es más la paz que la violencia; la mayoría de los orangutanes que quedan viven en la provincia de Aceh, donde el reciente fin a décadas de inestabilidad política ha llevado a un resurgimiento de la explotación forestal, legal o no. Una de las consecuencias accidentales del Antropoceno ha sido la poda de nuestro propio árbol de familia. Tras cortar a nuestras especies hermanas (los neandertales y los denisovanos) hace muchas generaciones, ahora nos ocupamos de nuestros primos hermanos y de nuestros primos segundos. Para cuando acabemos, es bastante posible que ya no quede más que un único representante de los grandes simios: nosotros mismos.

Uno de los yacimientos más prolíficos de huesos de neandertales (con restos de siete individuos) fue descubierto hace más o menos un siglo en un lugar llamado La Ferrassie, en el suroeste de Francia. La Ferrassie está en la Dordoña, no muy lejos de La Chapelle y a menos de media hora en coche de docenas de otros importantes yacimientos arqueológicos, entre ellos las cuevas con pinturas rupestres de Lascaux. Durante los últimos años, un equipo que incluye uno de los colaboradores de Pääbo ha

estado excavando en La Ferrassie, así que decidí bajar a echar un vistazo. Llegué al centro neurálgico de la excavación (una granja de tabaco reconvertida) justo a tiempo para la cena de *boeuf bourguignon* que se servía en unas improvisadas mesas en el patio trasero.

Al día siguiente, conduje hasta La Ferrassie con algunos de los arqueólogos del equipo. El yacimiento se encuentra en una somnolienta región rural, justo al lado de la carretera. Hace muchos miles de años, La Ferrassie fue una enorme cueva caliza, pero desde entonces ha caído una de las paredes, y ahora está abierta por dos lugares. A unos 6 metros de altura, un enorme saliente de roca configura un techo abovedado. El lugar está cercado con alambrada y cubierto con toldos, lo que le da el aspecto de la escena de un crimen.

El día era cálido y polvoriento. Media docena de estudiantes, agachados en una larga zanja, rascaban la tierra con unas paletas. En los laterales de la zanja se podían ver trozos de huesos que sobresalían del suelo rojizo. Los huesos de más abajo habían sido depositados allí por neandertales; los de más arriba eran restos de humanos modernos que se habían apoderado de la caverna cuando desaparecieron los neandertales. Los esqueletos de neandertales del yacimiento ya se han retirado hace mucho tiempo, pero se guardaba la esperanza de encontrar todavía algún trozo pequeño, como un diente. Cada fragmento de hueso que se desenterraba, junto con cada lasca de sílex o cualquier otra cosa que remotamente pudiera tener algún interés, se guardaba aparte para llevarlo a la granja de tabaco y etiquetarla.

Tras mirar durante un rato a los estudiantes mientras picaban en la tierra, me retiré a la sombra. Intenté imaginar cómo habría sido la vida para los neandertales de La Ferrassie. Aunque hoy es una zona boscosa, entonces no

había árboles. Deambulaban por el valle ciervos, renos, uros y mamuts. Aparte de estos datos inconexos, no se me ocurrió casi nada más. Les planteé la pregunta a los arqueólogos con los que había venido. «Hacía frío», propuso Shannon McPherron, del Instituto Max Planck.

«Y apestaba», dijo Dennis Sandgathe, de la Universidad Simon Fraser de Canadá.

«Probablemente pasaran hambre», añadió Harold Dibble, de la Universidad de Pensilvania.

«Nadie debía llegar a viejo», dijo Sandgathe. Más tarde, de vuelta a la granja, curioseé entre los trozos que habían desenterrado durante los días anteriores. Había cientos de fragmentos de huesos de animales, cada uno de los cuales había sido lavado, numerado y colocado en su propia bolsa de plástico, y cientos de lascas de sílex. Probablemente la mayoría eran descartes del proceso de fabricación de herramientas, el equivalente en la Edad de Piedra de las virutas de madera; pero algunas, según me explicaron, eran las propias herramientas. Después de que me enseñaran qué buscar, supe ver los cantos biselados que habían hecho los neandertales. Entre todas las herramientas destacaba una lasca del tamaño de la palma de la mano con forma de lágrima. En la jerga arqueológica, era un hacha de mano, aunque probablemente no fuese usada como tal en el sentido moderno de la palabra. Se había encontrado cerca del fondo de la zanja, por lo que su edad se estimaba en unos 70.000 años. La extraje de su bolsa de plástico y le di la vuelta. Era casi perfectamente simétrica y, al menos para el ojo humano, bastante bella. Dije que me parecía que el neandertal que la había fabricado debía de tener un buen sentido del diseño. McPherron objetó.

«Sabemos cómo acaba la historia», me dijo. «Sabemos cómo es la cultura moderna, así que lo que hacemos es intentar explicar cómo llegamos aquí. Hay una tendencia a sobreinterpretar el pasado proyectando sobre él el presente. Así que cuando vemos una hermosa hacha de mano, decimos: “Mira qué buen trabajo; es casi un objeto de arte”, ésa es nuestra perspectiva actual. Pero no podemos dar por supuesto aquello que intentamos probar.»

Entre los miles de artefactos de neandertales que se han desenterrado, casi ninguno representa un intento inequívoco de hacer una obra de arte o un adorno, y los que se han interpretado de este modo, como unos colgantes de marfil descubiertos en una cueva del centro de Francia, son objeto de inacabables y a menudo abstrusas disputas. (Algunos arqueólogos creen que los colgantes fueron fabricados por neandertales que, tras entrar en contacto con humanos modernos, intentaron imitarlos. Otros argumentan que los colgantes fueron fabricados por humanos modernos que ocuparon el lugar después de los neandertales.) Esta ausencia ha llevado a algunos a proponer que los neandertales no tenían capacidad para el arte o, lo que fundamentalmente es lo mismo, no estaban interesados en el arte. El hacha de mano puede parecernos «bella», pero a ellos debía de parecerles útil. Genómicamente hablando, carecían de lo que podríamos llamar mutación estética.

En mi último día en la Dordoña, fui a visitar un yacimiento arqueológico cercano, esta vez humano, llamado Grotte des Combarelles. La gruta es una cueva estrecha que zigzaguea a lo largo de casi 300 metros a través de un acantilado de piedra caliza. Desde su redescrubrimiento, a finales del siglo XIX, la cueva ha sido ampliada y dotada de luces eléctricas, lo que permite caminar por ella con seguridad, incluso con comodidad. Cuando los humanos

entraron por primera vez en la Grotte, hace 12.000 o 13.000 años, era bastante distinta. Entonces el techo era tan bajo que la única manera de moverse por la cueva debía ser arrastrándose, y la única manera de ver en la oscuridad absoluta, llevando fuego. Pese a todo ello, algo, tal vez creatividad, tal vez espiritualidad, quizá «locura», impulsó a aquellos humanos. En lo más profundo de la gruta, las paredes están cubiertas con cientos de grabados. Todas las imágenes son de animales, muchas de ellas hoy extintas: mamuts, uros, rinocerontes lanudos. Los más detallados poseen una inesperada vitalidad: un caballo salvaje parece levantar la cabeza, un reno se inclina hacia delante, aparentemente para beber.

Suele conjeturarse que los humanos que dibujaron en las paredes de la Grotte des Combarelles creían que sus imágenes tenían poderes mágicos, y en cierto modo tenían razón. Los neandertales vivieron en Europa durante más de 100.000 años y durante ese periodo no tuvieron más impacto sobre su entorno que cualquier otro vertebrado de gran tamaño. Hay muchas razones para creer que si los humanos no hubiesen entrado en escena, los neandertales todavía estarían allí, junto a los caballos salvajes y los rinocerontes lanudos. Con la capacidad de representar el mundo con signos y símbolos viene la capacidad de cambiarlo, que es también la capacidad de destruirlo. Una minúscula variación genética nos separa de los neandertales, pero la diferencia que ha provocado es inmensa.

# 13

# Esa cosa con plumas

*Homo sapiens*

«La futurología nunca ha sido una disciplina de investigación muy respetada», ha escrito el autor Jonathan Schell.[1] Con esta advertencia en la mente, me dirijo al Instituto de Investigación para la Conservación, una sucursal del zoo de San Diego situada a unos 50 kilómetros al norte de la ciudad. De camino al instituto veo varios campos de golf, unos viñedos y una granja de avestruces. Cuando llego, encuentro un lugar silencioso, como un hospital. Marlys Houck, una investigadora especializada en cultivos de tejidos, me conduce por un largo pasillo hasta una sala sin ventanas. Coge un par de algo que se parece a unos guantes para horno extrafuertes, y abre la tapa de un gran tanque de metal. De la abertura sale un vapor fantasmagórico.

En el fondo del tanque hay nitrógeno líquido a una temperatura de –195,8 ºC. Por encima del nitrógeno líquido hay unas cajas que contienen unos pequeños viales de plástico. Las cajas están apiladas formando torres, y los viales dispuestos verticalmente, como clavijas, cada uno en su propio agujero. Houck localiza la caja que está buscando y cuenta varias filas, y luego cuenta hacia abajo. Extrae dos de los viales y los coloca ante mí sobre una mesa de acero. «Ahí los tienes», dice.

En el interior de los viales está prácticamente todo lo que queda del poo-uli o mielero carinegro (*Melamprosops phaeosoma*), un pájaro robusto con una cara simpática y el pecho de color crema que vivía en Hawái. En cierta ocasión me describieron el poo-uli como «la más bella de las aves no especialmente bellas de todo el mundo», y probablemente se extinguiera un año o dos después de que el zoo de San Diego y el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos hicieran un último esfuerzo desesperado por salvarlo, en el otoño de 2004. En aquel momento, sólo se conocía de la existencia de tres individuos, y la idea era capturarlos para criarlos. Pero sólo uno de los pájaros se dejó capturar. Se creyó que se trataba de una hembra, pero resultó ser un macho, lo que hizo sospechar a los científicos del Servicio de Pesca y Vida Silvestre que ya sólo quedaba un sexo de poouli. Cuando el pájaro cautivo murió, el día después de Acción de Gracias, su cuerpo fue enviado inmediatamente al zoo de San Diego. Houck fue corriendo al instituto para ocuparse de él. «Ésta es nuestra última oportunidad», recuerda haber pensado. «Éste es el dodo.» Houck consiguió cultivar algunas de las células del ojo del pájaro, y el producto de aquellos esfuerzos es lo que ahora se guarda en los viales. No quiere que se dañen las células, así que al cabo de un minuto, más o menos, coloca los viales de nuevo en la caja y los retorna al tanque.

La sala sin ventanas donde se mantienen vivas las células del poouli se conoce como Zoo Helado. El nombre está registrado, y si otras instituciones intentan utilizarlo, les recuerdan que están infringiendo la ley. El zoo tiene media docena de tanques como el que Houcks abrió, y guardados en su interior, en frígidas nubes de nitrógeno, hay líneas celulares correspondientes a casi un millar de especies. (En realidad esto es sólo la mitad del zoo; la otra mitad está formada por tanques almacenados en otra

instalación cuya localización se guarda secretamente. Cada línea celular está dividida entre las dos instalaciones por si acaso hay una caída de tensión en alguna de ellas.) El Zoo Helado mantiene la mayor colección de especies congeladas de todo el mundo, pero hay un número cada vez mayor de instituciones que también están montando sus propias casas de fieras heladas; el zoo de Cincinnati, por ejemplo, gestiona lo que llama CryoBioBank y la Universidad de Nottingham, en Inglaterra, el Arca Helada.

Por el momento, casi todas las especies que se conservan heladas a temperaturas muy bajas en San Diego todavía tienen miembros de carne y hueso. Pero a medida que otras plantas y animales sigan el destino del poo-uli, es probable que eso cambie. Mientras Houcks se entretiene sellando de nuevo el tanque, pienso en los cientos de cadáveres de murciélago recogidos del suelo de la cueva de Aeolus que fueron enviados a la Cryo Collection del Mueso Americano de Historia Natural. Intenté calcular cuántos pequeños viales de plástico y tanques de nitrógeno líquido serían necesarios para guardar cultivos de todas las ranas amenazadas por quitridio, y los corales amenazados por la acidificación, y los paquidermos amenazados por los furtivos, y la multitud de especies amenazadas por el calentamiento y las especies invasoras y la fragmentación, y no tardé en darme por vencida. Demasiados números para mi pobre cabeza.

¿Tiene que acabar de este modo? ¿La última esperanza para los organismos más maravillosos de la Tierra (o los menos maravillosos) tiene que acabar realmente en un tanque de nitrógeno líquido? Advertidos ya de las formas en que ponemos en peligro a otras especies, ¿no podemos

actuar para protegerlas? ¿Acaso el propósito de intentar prever el futuro no es que, viendo los peligros que nos esperan, cambiemos el curso para evitarlos?

No hay duda de que los humanos podemos ser destructivos y miopes; pero también podemos pensar en el futuro y ser altruistas. Una y otra vez, la gente ha demostrado que les importa lo que Rachel Carson llamaba «el problema de compartir nuestra Tierra con otras criaturas» y que están dispuestos a hacer sacrificios en bien de esas otras criaturas.[2] Alfred Newton describió la masacre que se estaba produciendo en las costas británicas; el resultado fue la Ley para la Conservación de las Aves Marinas. John Muir escribió sobre el daño que se estaba haciendo a las montañas de California, y propició la creación del Parque Nacional de Yosemite. *La primavera silenciosa* expuso los peligros que representaban los pesticidas sintéticos, y en una década se habían prohibido la mayoría de los usos del DDT. (El hecho de que en Estados Unidos todavía haya pigargos americanos, en número creciente, es una de las muchas consecuencias felices de estos avances.) En 1974, dos años después de la prohibición del DDT, el Congreso de Estados Unidos aprobó la Ley relativa a las Especies Amenazadas. Desde entonces, los extremos a los que han llegado algunas personas para proteger a las especies incluidas en la lista de la ley son prácticamente increíbles, en el sentido literal de la palabra. Por citar tan sólo una de muchas posibles ilustraciones, a mediados de los años ochenta la población de cóndor americano había disminuido hasta apenas veintidós individuos. Para rescatar esta especie, la mayor ave terrestre de América del Norte, los biólogos de la vida silvestre criaron pollos de cóndor con la ayuda de marionetas. Crearon falsas líneas eléctricas para entrenar a las aves con el fin de que no se electrocutaran; para

enseñarles a no comer en los vertederos, pusieron cables en la basura para que recibieran una leve descarga. Vacunaron a todos y cada uno de los cóndores (en la actualidad hay unos cuatrocientos) contra el virus del Nilo occidental, una enfermedad contra la cual merece la pena observar que todavía no se ha desarrollado una vacuna humana. De manera habitual analizan las aves en busca de indicios de envenenamiento con plomo (los cóndores que se alimentan de la carroña de venados a menudo ingieren perdigones de plomo) y han tratado a muchos de ellos con terapia de quelación. Muchos cóndores han sido sometidos al tratamiento más de una vez. Los esfuerzos realizados para salvar la grulla trompetera han implicado más horas de trabajo, la mayoría de voluntarios. Cada año, un equipo de pilotos de ultraligeros entrenan a una nueva cohorte de pollos de grullas nacidos en cautividad para que aprendan a migrar al sur en invierno, de Wisconsin a Florida. El viaje, de casi 2.100 kilómetros, puede llevar hasta tres meses, con docenas de paradas en tierras privadas que sus propietarios ofrecen a las grullas. Millones de americanos que no participan directamente en esos programas lo hacen indirectamente, como miembros de grupos como World Wildlife Fund, National Wildlife Federation, Defenders of Wildlife, Wildlife Conservation Society, African Wildlife Foundation, Nature Conservancy o Conservation International.

¿No sería mejor, en términos prácticos y éticos, centrarse en lo que puede hacerse y *ya* se está haciendo para salvar las especies, en lugar de especular sombríamente sobre un futuro en el que la biosfera quede reducida a pequeños viales de plástico? El director de un grupo de conservación de Alaska me lo dijo de este modo: «La gente necesita conservar la esperanza. *Yo* necesito tener esperanza. Es lo que nos mantiene en pie».

Al lado del Instituto de Investigación para la Conservación hay un edificio parecido, de un color pardusco, que funciona como hospital veterinario. La mayoría de los animales del hospital, que también está dirigido por el zoo de San Diego, están allí sólo de paso, pero el edificio también alberga un residente: Kinohi, un cuervo hawaiano. Kinohi es un ejemplar de un total de un centenar de cuervos hawaianos, o alalas, que existen en la actualidad, todos ellos en cautividad. Durante mi estancia en San Diego visité a Kinohi acompañada de la directora de fisiología reproductora del zoo, Barbara Durrant, quien, según me habían dicho, era la única persona que realmente lo comprendía. De camino a visitar al cuervo, Durrant paró en una peculiar cafetería para comprarle algunos de sus tentempiés favoritos: gusanos de la harina, un ratón recién nacido y sin pelo (que llaman «*pinky*», rosadito) y los cuartos traseros de un ratón adulto que habían cortado por la mitad, de manera que una parte tenía un par de pies y la otra un lío de intestinos.

Nadie sabe con certeza por qué se extinguió el alala en libertad; probablemente, como el poo-uli, las razones sean múltiples e incluyan la pérdida de hábitat, la depredación por especies invasoras como la mangosta y enfermedades transmitidas por otras especies invasoras, como los mosquitos. Sea como fuere, parece que el último alala que habitó en los bosques murió en 2002. Kinohi nació en un programa de cría en cautividad de Maui hace más de veinte años. Se mire como se mire, se trata de un ave realmente extraña. Criada en aislamiento, no se identifica con otros alalas, aunque tampoco parece que se vea a sí mismo como un humano. «Vive en un mundo propio», me dijo Durrant. «Una vez se enamoró de una espátula.»

Kinohi fue enviado a San Diego en 2009 porque se negaba a aparearse con ninguno de los otros cuervos cautivos, de modo que se decidió que había que probar algo nuevo para intentar convencerlo de que aporte algo al limitado acervo genético de su especie. Recayó en Durrant la tarea de averiguar cómo ganarse el corazón de Kinohi o, para ser más precisos, sus gónadas. Kinohi no tardó mucho en aceptar sus atenciones (los cuervos no tienen falo, así que Durrant le acariciaba el área alrededor de la cloaca), pero en el momento de mi visita todavía no había logrado que produjera lo que ella llamaba «una eyaculación de alta calidad». Se acercaba otra época de apareamiento, y Durrant se estaba preparando para intentarlo de nuevo, tres veces a la semana durante unos cinco meses. Si Kinohi lograba eyacular, Durrant llevaría a toda prisa el esperma a Maui para intentar inseminar artificialmente una de las hembras de aquella instalación de cría.

Llegamos a la jaula de Kinohi, que resultó ser más bien una suite con una antecámara lo bastante grande para que cupieran de pie varias personas, y una sala posterior llena de cuerdas y otros entretenimientos para córvidos. Kinohi se acercó de un salto para saludarnos. Era negro como la noche de los pies a la cabeza. Para mí, se parecía bastante a un cuervo americano normal y corriente, pero Durrant me hizo observar que tenía un pico mucho más grueso y más gruesas también las patas. Kinohi mantenía la cabeza inclinada hacia delante, como si intentara evitar el contacto visual. Cuando vio a Durrant, me pregunté si tuvo el equivalente aviar de pensamientos sucios. Ella le ofreció los tentempiés que le había traído y él emitió un graznido estridente que me resultó extrañamente familiar. Los cuervos pueden imitar el habla humana, y Durrant me tradujo el graznido como «Ya sé».

«Ya sé», repitió Kinohi. «Ya sé.»



Zoo de San Diego.

La tragicómica vida sexual de Kinohi pone aún más de manifiesto, si acaso era necesario, hasta qué punto los humanos nos tomamos en serio la extinción. Es tal el dolor que produce la pérdida de una sola especie que estamos dispuestos a hacer ecografías a rinocerontes y masturbaciones a cuervos. No hay duda de que la determinación de personas como Terri Roth o Barbara Durrant y de instituciones como los zoos de Cincinnati y San Diego se pueden invocar como razones para el optimismo. Y si este libro fuese de otro tipo, lo haría.

Aunque muchos de los capítulos anteriores se han dedicado a la extinción (o cuasiextinción) de organismos individuales, como la rana dorada de Panamá, el alca gigante o el rinoceronte de Sumatra, el tema del que me he ocupado es la pauta de la que son muestra. Lo que he

intentado hacer es rastrear un evento de extinción (llámese extinción del Holoceno o extinción del Antropoceno, o, si se prefiere cómo suena, la Sexta Extinción) y situar ese evento en el contexto más amplio de la historia de la vida. Esa historia no es ni estrictamente uniformista ni catastrofista, sino más bien un híbrido de las dos. Lo que esa historia revela, con sus altos y bajos, es que la vida es extraordinariamente resiliente, pero no de forma ilimitada. Ha habido larguísimos periodos sin eventos y muy muy ocasionalmente «revoluciones en la superficie de la Tierra».

En la medida en que podemos identificar las causas de estas revoluciones, son muy variadas: glaciación en el caso de la extinción de final del Ordovícico, calentamiento global y cambios en la química del océano a finales del Pérmico, un impacto de asteroide en los últimos segundos del Cretácico. La actual extinción tiene causa nueva y propia: ni un asteroide ni una erupción volcánica masiva, sino «una especie invasora». Tal como me lo dijo Walter Alvarez, «Ahora estamos viendo que una extinción en masa puede tener su causa en los seres humanos».

La característica que estos eventos dispares tienen en común es el cambio y, para ser más específicos, la tasa de cambio. Cuando el mundo cambia más rápido de lo que las especies pueden adaptarse, muchas caen por el camino. Es así tanto si el agente del cambio se precipita desde el firmamento con una estela ígnea como si va a trabajar en un Honda. Sostener que el actual evento de extinción se podría evitar si la gente se preocupase más o si estuviera dispuesta a más sacrificios no es exactamente erróneo, pero no capta lo esencial. No importa demasiado si a la gente le importa o no; lo que importa es que la gente cambie el mundo.

Esta capacidad precede a la modernidad, aunque, por supuesto, la modernidad en su más plena expresión. De hecho, esta capacidad es probablemente indistinguible de las cualidades que nos hacen humanos: nuestra inquietud, nuestra creatividad, nuestra habilidad para cooperar para resolver problemas o realizar tareas complejas. Desde el momento en que los humanos comenzaron a utilizar signos y símbolos para representar el mundo natural, fueron más allá de los límites de aquel mundo. «En muchos sentidos, el lenguaje humano es como el código genético», ha escrito el paleontólogo británico Michael Benton. «La información se almacena y transmite, con modificaciones, de generación en generación. La comunicación mantiene juntas las sociedades y permite a los humanos escapar a la evolución.»[3] Si la gente fuese simplemente despreocupada, egoísta o violenta, no habría un Instituto de Investigación para la Conservación, ni habría necesidad de tenerlo. Quien quiera pensar en por qué los humanos son tan peligrosos para otras especies, que visualice un furtivo en África con un AK-47 o un leñador en el Amazonas sosteniendo un hacha, o, mejor aún, que se visualice a sí mismo con un libro en las manos.

En el centro de la Sala de la Biodiversidad del Museo Americano de Historia Natural hay una parte de la exposición que está incrustada en el suelo. La exposición está dispuesta alrededor de una placa central que informa de que hubo cinco grandes eventos de extinción desde la evolución de los animales complejos, hace más de 500 millones de años. Según dice la placa, «El cambio climático y otras causas, que probablemente incluyan colisiones entre la Tierra y objetos extraterrestres», fueron responsables de estos eventos. Y prosigue: «Ahora mismo estamos en plena

Sexta Extinción, esta vez causada exclusivamente por la transformación que han hecho los humanos del paisaje ecológico».

En forma de radios alrededor de la placa hay láminas de grueso plexiglás, y bajo ellas los restos fosilizados de un puñado de bajas ejemplares. El plexiglás ha sido arañado por los zapatos de decenas de miles de visitantes del museo que ha caminado por encima, la mayoría probablemente ignorantes de lo que pisaban. Pero si uno se agacha y mira con atención, podrá ver que cada uno de los fósiles está etiquetado con el nombre de la especie y el evento de extinción que puso fin a su linaje. Los fósiles están dispuestos en orden cronológico, de manera que los más antiguos (los graptolitos del Ordovícico) están cerca del centro, mientras que los más recientes (dientes de *Tyrannosaurus rex* de finales del Cretácico), están más lejos. Si uno se sitúa en el margen de la exposición, que realmente es el único lugar desde donde verla, se halla justo allí donde deberían ir las víctimas de la Sexta Extinción.

En un evento de extinción causado por nosotros mismos, ¿qué ocurre con nosotros? Una de las posibilidades, la que implica la Sala de la Biodiversidad, es que también acabaremos abatidos por nuestra propia «transformación del paisaje ecológico». La lógica que hay detrás de esta manera de pensar es la siguiente: habiéndonos liberado de las restricciones que impone la evolución, los humanos seguimos dependiendo, sin embargo, de los sistemas biológicos y geoquímicos de la Tierra. Al trastornar estos sistemas (talando selvas lluviosas en los trópicos, alterando la composición de la atmósfera, acidificando los océanos) estamos poniendo en peligro nuestra propia supervivencia. Entre las muchas lecciones que emanan del registro geológico, tal vez la mayor lección

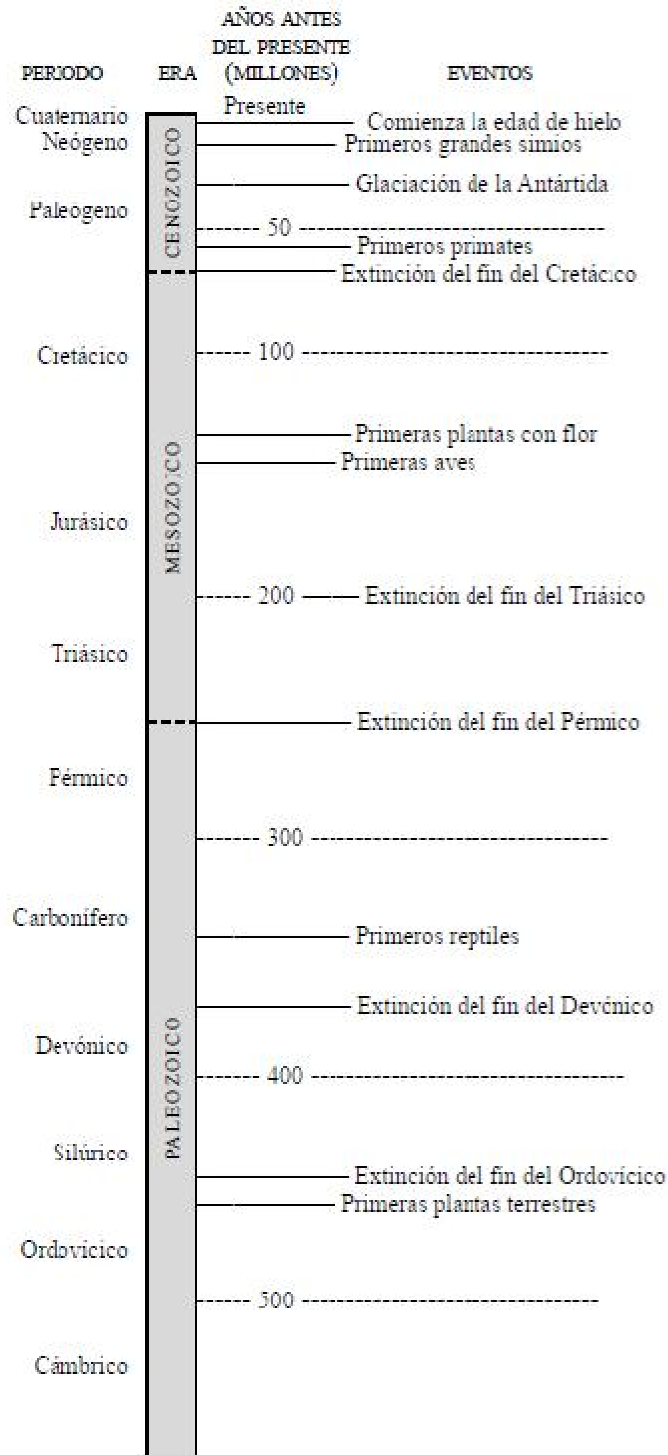
de humildad sea que en la vida, como en los fondos de inversión, los resultados pasados no garantizan resultados futuros. Cuando se produce una extinción en masa, se lleva a los débiles y debilita a los fuertes. Los graptolitos en forma de «V» crecían por todos lados, luego desaparecieron por completo. Los amonites nadaron por los mares durante millones de años, luego se desvanecieron. El antropólogo Richard Leakey ha advertido de que «*Homo sapiens* podría no ser únicamente el agente de la Sexta Extinción, sino que corre el riesgo de convertirse en una de sus víctimas».[4] Un letrero de la Sala de la Biodiversidad nos brinda una cita del ecólogo de Stanford Paul Ehrlich: AL EMPUJAR A OTRAS ESPECIES A LA EXTINCIÓN, LA HUMANIDAD SE AFANA EN CORTAR LA RAMA QUE LA SOSTIENE.

Otra posibilidad, que algunos consideran algo más optimista, es que la inventiva de los humanos contrarrestará cualquier desastre que la inventiva de los humanos haya desencadenado. Hay científicos serios que defienden, por ejemplo, que si el calentamiento global se convirtiera en una amenaza demasiado grave, podrían combatirla con ingeniería atmosférica. Algunas de estas propuestas sugieren que dispersemos sulfatos en la estratosfera para reflejar la radiación solar de vuelta al espacio; otras, que disparemos minúsculas gotas de agua sobre el Pacífico para que las nubes sean más brillantes. Si nada de esto funcionase y las cosas se pusiesen realmente negras, hay quien sostiene que la gente todavía estaría a salvo: bastaría con largarse a otros planetas. Un libro reciente aconseja construir ciudades «en Marte, Titán, Europa, la Luna, asteroides y cualquier otro pedazo de Tierra no habitado que podamos encontrar».

«No hay que preocuparse», observa su autor. «Mientras sigamos explorando, la humanidad sobrevivirá.»[5]

Obviamente, el destino de nuestra propia especie nos preocupa sobremanera. Pero a riesgo de parecer antihumana (¡algunos de mis mejores amigos son humanos!) diré que no es, en último análisis, lo que más merece nuestra atención. Ahora mismo, en este prodigioso momento que para nosotros cuenta como presente, estamos decidiendo, sin realmente quererlo, qué vías evolutivas permanecerán abiertas y cuáles se cerrarán para siempre. Ninguna otra criatura ha conseguido nunca algo así, y por desgracia éste será nuestro legado más duradero. La Sexta Extinción seguirá determinando el curso de la vida mucho tiempo después de que todo lo que alguna vez alguien haya escrito o pintado o construido quede reducido a polvo y unas ratas gigantes hayan heredado (o no) la Tierra.

## PRINCIPALES EVENTOS EN LA HISTORIA DE LA VIDA, ÚLTIMOS 500.000 AÑOS


AÑOS ANTES DEL PRESENTE (MILLONES)
PERIODO
ERA
EVENTOS
Presente
Cuaternario
Neógeno
Paleogeno
Cretácico
Jurásico
Triásico
Pérmico
Carbonífero
Devónico
Silúrico
Ordovícico
Cámbrico
CENOZOICO
MESOZOICO
PALEOZOICO
50
100
200
300
400
500
Comienza la edad de hielo
Primeros grandes simios
Glaciación de la Antártida
Primeros primates
Extinción del fin del Cretácico
Primeras plantas con flor
Primeras aves
Extinción del fin del Triásico
Extinción del fin del Pérmico
Primeros reptiles
Extinción del fin del Devónico
Extinción del fin del Ordovícico
Primeras plantas terrestres

# Agradecimientos

Cuando una periodista decide escribir un libro sobre extinciones en masa, necesita mucha ayuda. Han sido muchas las personas expertas, generosas y pacientes que han regalado algo de su tiempo a este proyecto.

Por su ayuda para entender lo que ha dado en conocerse como la crisis de los anfibios, estoy en deuda con Edgardo Griffith, Heidi Ross, Paul Crump, Vance Vredenburg, David Wake, Karen Lips, Joe Mendelson, Erica Bree Rosenblum y Allan Pessier.

Agradezco a Pascal Tassy que me enseñara cómo es tras la cortina el Museo de Historia Nacional de París. Por mostrarme el alca gigante y el lugar donde solía vivir, quiero dar las gracias a Guðmundur Guðmundsson, Reynir Sveinsson y Halldór Ármannsson, así como a Magnus Bernhardsson, que hizo posible el viaje a Eldey. Neil Landman tuvo la amabilidad de enseñarme los yacimientos del Cretácico de Nueva Jersey y su extraordiaria colección de amonites. Gracias a Lindy Elkins-Tanton y Andy Knoll por compartir su conocimiento de la extinción del fin del Pérmico, y a Nick Longrich y Steve D’Hondt, por compartir el suyo acerca del final del Cretácico.

Estoy especialmente en deuda con Jan Zalasiewicz porque, además de llevarme en busca de graptolitos en Escocia, me contestó un sinfín de preguntas durante los últimos años. Vaya mi agradecimiento también para Dan Condon y Ian Miller por una memorable (aunque húmeda) expedición, y a Paul Crutzen por explicarme su idea del Antropoceno.

La acidificación del océano es un tema intimidante. Nunca habría podido hablar sobre ello sin la ayuda de Chris Langdon, Richard Feely, Chris Sabine, Joanie Kleypas, Victoria Fabry, Ulf Riebesell, Lee Kump y Mark Pagani. Me siento especialmente agradecida a Jason HallSpencer, que me llevó a nadar en las frías aguas de Castello Aragonese y luego tuvo la paciencia de responder mis numerosas preguntas. Muchas gracias también a Maria Cristina Buia por organizar el viaje.

He recurrido a Ken Caldeira una y otra vez en busca de ayuda para intentar comprender diversos aspectos de la ciencia del clima y la química del mar. Estoy muy en deuda con él y con su esposa, Lilian, y con el equipo entero que conocí en One Tree: Jack Silverman, Kenny Schneider, Tanya Rivlin, Jen Reiffel y el inimitable Russell Graham. Gracias también a Davey Kline, Brad Opdyke, Selina Ward y Ove Hoegh-Guldberg.

Miles Silman fue un guía extraordinario para una extraordinaria parte del mundo. No puedo agradecerle lo suficiente que compartiera conmigo tanto tiempo y conocimiento. También deseo extender mi gratitud a sus estudiantes de doctorado, William Farfan Rios y Karina Garcia Cabrera. Muchas gracias, también, a Chris Thomas.

Nunca hubiera siquiera intentado escribir este libro sin la ayuda de Tom Lovejoy. Su paciencia y generosidad son, por lo que a mí respecta, ilimitadas, y me siento profundamente agradecida por su ayuda y su apoyo. Mario Cohn-Haft fue un guía experto y de gran humor en la selva amazónica. Quiero dar las gracias también a Rita Mesquita, José Luis Camargo, Gustavo Fonseca y Virgilio Viana.

Scott Darling y Al Hicks fueron dos de las primeras personas que comprendieron la gravedad del síndrome de la nariz blanca. Compartieron conmigo lo que sabían a medida que lo aprendían, y me ayudaron enormemente.

Ryan Smith, Susi von Oettingen y Alyssa Bennett tuvieron la amabilidad de llevarme una y otra vez a la cueva de Aeolus. Joe Roman generosamente leyó y me comentó la sección del libro sobre especies invasoras.

Terri Roth y Chris Johnson me ayudaron a entender la megafauna del pasado y del presente. Gracias especialmente a John Alroy por sus cálculos sobre las tasas de extinción, y gracias también a Anthony Barnosky.

Svante Pääbo dedicó muchas horas a explicarme las complejidades de la paleogenética en general, y en particular del Proyecto Genoma Neandertal. Quiero expresarle mi agradecimiento, igual que a Shannon McPherron, que tuvo la amabilidad de enseñarme La Ferrassie, y a Ed Green, siempre dispuesto a responder una pregunta más.

Marlys Houck, Oliver Ryder, Barbara Durrant y Jenny Mehlow fueron generosos conmigo durante mi visita a San Diego.

Quiero agradecer al servicio de la biblioteca de William College que buscara para mí libros y artículos difíciles de encontrar, y a Jay Pasachoff que me prestara amablemente sus archivos sobre la extinción del fin del Cretácico.

En 2010 tuve la fortuna de recibir una beca de John Simon Guggenheim Memorial Foundation que me permitió viajar a lugares que de otro modo no habría podido visitar. He recibido apoyo indirectamente para este proyecto de una beca literaria Lannan y de la Heinz Family Foundation.

Algunas partes de varios capítulos de este libro se publicaron primero en *New Yorker*. Por sus consejos y apoyo, y por su paciencia, estoy muy en deuda con David Remnick y Dorothy Wickenden. Por sus sabios consejos, estoy en deuda con John Bennet. Algunas partes de otros capítulos aparecieron en *National Geographic*, y en el sitio web e360. Quiero agradecer a Rob Kunzig, Jamie Shreeve y

Roger Cohn su asistencia y sus ideas. Muchas gracias también a Steven Barclay y a Eliza Fisher por su apoyo incansable.

Gracias a Laura Wyss, Meryl Levavi, Caroline Zancan y Vicki Haire por transformar en libro un manuscrito rebelde.

Gillian Blake fue la mejor editora que uno hubiera podido pedir para un proyecto como éste: inteligente, penetrante e imperturbable. Siempre que las cosas parecían salirse de madre, ella las guiaba con calma de vuelta al cauce. Kathy Robbins se mostró, como siempre, incomparable. Sus consejos e ideas fueron siempre valiosas, y su buen humor constante.

Muchos amigos y familiares me ayudaron durante los años que duró este proyecto, algunos posiblemente sin ni siquiera darse cuenta. Gracias a Jim y Karen Shepard, Andrea Barrett, Susan Greenfield, Todd Purdum, Nancy Pick, Lawrence Douglas y Stewart Adelson, y a Marlene, Gerald y Dan Kolbert. Mi agradecimiento especial para Barry Goldstein. Gracias también a Ned Kleiner, que me ayudó con los últimos retoques de este libro, y a Aaron y Matthew Kleiner, que nunca hicieron que su madre se sintiera culpable por no asistir a sus partidos de fútbol.

Por último, quiero agradecer a mi marido, John Kleiner, que una vez más me ayudase de más maneras de las que debería haberlo hecho. Escribí este libro con él y para él.

# Bibliografía selecta


Alroy, John, «A Multispecies Overkill Simulation of the End-Pleistocene Megafaunal Mass Extinction», *Science*, 292 (2001), pp. 1893-1896.

Alvarez, Luis W., «Experimental Evidence That an Asteroid Impact Led to the Extinction of Many Species 65 Million Years Ago», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 80 (1983), pp. 627-642.

Alvarez, Luis W., W. Alvarez, F. Asaro y H. V. Michel, «Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction», *Science*, 208 (1980), pp. 1095-1108.

Alvarez, Walter. *T. rex and the Crater of Doom*, Princeton University Press, Princeton, 1997 (hay trad. cast.: *Tyrannosaurus rex y el cráter de la muerte*, Crítica, Barcelona, 1998).

—, «Earth History in the Broadest Possible Context», Ninety-Seventh Annual Faculty Research Lecture, University of California, Berkeley, International House, conferencia pronunciada el 29 de abril de 2010.

Appel, Toby A., *The Cuvier-Geoffroy Debate: French Biology in the Decades Before Darwin*, Oxford University Press, Oxford, 1987.

Barnosky, Anthony D., «Megafauna Biomass Tradeoff as a Driver of Quaternary and Future Extinctions», *Proceedings of the National Academy of Science*, 105 (2008), pp. 11543-11548.

—, *Heatstroke: Nature in an Age of Global Warming*, Island Press/Shearwater Books, Washington, D.C., 2009.

Benton, Michael J., *When Life Nearly Died: The Greatest Mass Extinction of All Time*, Thames and Hudson, Nueva York, 2003.

Bierregaard, Richard O., *et al., Lessons from Amazonia: The Ecology and Conservation of a Fragmented Forest*, Yale University Press, New Haven, 2001.

Birkhead, Tim, «How Collectors Killed the Great Auk», *New Scientist*, 142 (1994), pp. 24-27.

Blundell, Derek J. y Andrew C. Scott (eds.), *Lyell: The Past Is the Key to the Present*, Geological Society, Londres, 1998.

Bohor, B. F., *et al.*, «Mineralogic Evidence for an Impact Event at the Cretaceous- Tertiary Boundary», *Science*, 224 (1984), pp. 867-869.

Boule, Marcellin, *Fossil Men: Elements of Human Palaeontology*, traducción de Jessie J. Elliot Ritchie y James Ritchie, Oliver and Boyd, Edimburgo, 1923.

Bowen, James y Margarita Bowen, *The Great Barrier Reef: History, Science, Heritage*, Cambridge University Press, Cambridge, 2002.

Brown, James H. *Macroecology*, University of Chicago Press, Chicago, 1995.

Browne, Janet, *Charles Darwin: Voyaging*, Knopf, Nueva York, 1995.

—, *Charles Darwin: The Power of Place*, Knopf, Nueva York, 2002.

Browne, Malcolm W, «Dinosaur Experts Resist Meteor Extinction Idea», *New York Times*, 29 de octubre de 1985.

Buckland, William, *Geology and Mineralogy Considered with Reference to Natural Theology*, W. Pickering, Londres, 1836.

Burdick, Alan, *Out of Eden: An Odyssey of Ecological Invasion*, Farrar, Straus and Giroux, Nueva York, 2005.

Burkhardt, Richard Wellington, *The Spirit of System: Lamarck and Evolutionary Biology*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1977.

Butlin, Roger, Jon Bridle y Dolph Schluter (eds.), *Speciation and Patterns of Diversity*, Cambridge University Press, Cambridge, 2009.

Caldeira, Ken y Michael E. Wickett, «Anthropogenic Carbon and Ocean pH», *Nature*, 425 (2003), pp. 365.

Carpenter, Kent E., *et al.*, «One-Third of Reef-Building Corals Face Elevated Extinction Risk from Climate Change and Local Impacts», *Science*, 321 (2008), pp. 560-563.

Carson, Rachel, *Silent Spring*, edición del 40.º aniversario, Houghton Mifflin, Boston, 2002 (hay trad. cast.: *Primavera silenciosa*, Crítica, 2001).

—, *The Sea Around Us*, reimpresión en Signet, Nueva York, 1961 (hay trad. cast.: *El mar que nos rodea*, Destino, 2007).

Catenazzi, Alessandro, *et al.*, «*Batrachochytrium dendrobatidis* and the Collapse of Anuran Species Richness and Abundance in the Upper Manú National Park, Southeastern Peru», *Conservation Biology*, 25 (2011), pp. 382-391.

Chown, Steven L., *et al.*, «Continent-wide Risk Assessment for the Establishment of Nonindigenous Species in Antarctica», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (2012), pp. 4938-4943.

Chu, Jennifer, «Timeline of a Mass Extinction», MIT News Office, publicado en línea en 18 de noviembre de 2011.

Cohen, Claudine, *The Fate of the Mammoth: Fossils, Myth, and History*, University of Chicago Press, Chicago, 2002.

Coleman, William, *Georges Cuvier, Zoologist: A Study in the History of Evolution Theory*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1964.

Collen, Ben, Monika Böhm, Rachael Kemp y Jonathan E. M. Baillie (eds.), *Spineless: Status and Trends of the World's Invertebrates*, Zoological Society, Londres, 2012.

Collinge, Sharon K., *Ecology of Fragmented Landscapes*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2009.

Collins, James P. y Martha L. Crump, *Extinctions in Our Times: Global Amphibian Decline*, Oxford University Press, Oxford, 2009.

Crump, Martha L., *In Search of the Golden Frog*, University of Chicago Press, Chicago, 2000.

Crutzen, Paul J, «Geology of Mankind», *Nature*, 415 (2002), pp. 23.

Cryan, Paul M., *et al.*, «Wing Pathology of White-Nose Syndrome in Bats Suggests Life-Threatening Disruption of Physiology», *BMC Biology*, 8 (2010).

Cuvier, Georges y Martin J. S. Rudwick, *Georges Cuvier, Fossil Bones, and Geological Catastrophes: New Translations and Interpretations of the Primary Texts*, University of Chicago Press, Chicago, 1997.

Darwin, Charles. *The Structure and Distribution of Coral Reefs*, 3.ª ed. New York: D. Appleton, 1897 (hay trad. cast.: *La estructura y distribución de los arrecifes de coral*, Los Libros de la Catarata, Madrid, 2006).

—, *On the Origin of Species: A Facsimile of the First Edition*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1964 (hay trad. cast.: *El origen de las especies* [6.ª ed.], Alianza, Madrid, 2013).

—, *The Autobiography of Charles Darwin, 1809-1882: With Original Omissions Restored*, Norton, Nueva York, 1969 (hay trad. cast.: *Autobiografía*, Alianza, Madrid, 1997).

—, *The Works of Charles Darwin*, Vol. 1, *Diary of the Voyage of H.M.S. Beagle*, edición de Paul H. Barrett y R. B. Freeman, New York University Press, Nueva York, 1987 (hay trad. cast.: *El viaje del Beagle*, Labor, Barcelona, 1984).

—, *The Works of Charles Darwin*, Vol. 2, *Journal of Researches*, edición de Paul H. Barrett y R. B. Freeman, New York University Press, Nueva York, 1987.

—, *The Works of Charles Darwin*, Vol. 3, *Journal of Researches*, Part 2, edición de Paul H. Barrett y R. B. Freeman, New York University Press, Nueva York, 1987.

—, *The Descent of Man* (1871), reimpresión de, Penguin, Nueva York, 2004 (hay trad. cast.: *El origen del hombre*, Crítica, Barcelona, 2009).

Davis, Mark A., *Invasion Biology*, Oxford University Press, Oxford, 2009.

De'ath, Glenn, *et al.*, «The 27-Year Decline of Coral Cover on the Great Barrier Reef and Its Causes», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (2012), pp. 17995-17999.

DeWolf, Gordon P., *Native and Naturalized Trees of Massachusetts*, Cooperative Extension Service, University of Massachusetts, Amherst, 1978.

Diamond, Jared, «The Island Dilemma: Lessons of Modern Biogeographic Studies for the Design of Natural Reserves», *Biological Conservation* 7 (1975), pp. 129-146.

Diamond, Jared, *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*, Norton, Nueva York, 1997, p. 43 (hay trad. cast.: *Armas, gérmenes y acero: la sociedad humana y sus destinos*, Debate, Barcelona, 1998).

Dobbs, David, *Reef Madness: Charles Darwin, Alexander Agassiz, and the Meaning of Coral*, Pantheon, Nueva York, 2005.
Ellis, Erle C. y Navin Ramankutty, «Putting People in the Map: Anthropogenic Biomes of the World», *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6 (2008), pp. 439-447.
Elton, Charles S., *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*, 1958, reimpresión en University of Chicago Press, Chicago, 2000.
Erwin, Douglas H., *Extinction: How Life on Earth Nearly Ended 250 Million Years Ago*, Princeton University Press, Princeton, 2006.
Erwin, Terry L, «Tropical Forests: Their Richness in Coleoptera and Other Arthropod Species», *Coleopterists Bulletin*, 36 (1982), pp. 74-75.
Fabricius, Katherina E., *et al.*, «Losers and Winners in Coral Reefs Acclimatized to Elevated Carbon Dioxide Concentrations», *Nature Climate Change*, 1 (2011), pp. 165-169.
Feeley, Kenneth J., *et al.*, «Upslope Migration of Andean Trees», *Journal of Biogeography*, 38 (2011), pp. 783-791.
Feeley, Kenneth J. y Miles R. Silman, «Biotic Attrition from Tropical Forests Correcting for Truncated Temperature Niches», *Global Change Biology*, 16 (2010), pp. 1830-1836.
Flannery, Tim F., *The Future Eaters: An Ecological History of the Australasian Lands and People*, G. Braziller, Nueva York, 1995.
Fortey, Richard A., *Life: A Natural History of the First Four Billion Years of Life on Earth*, Vintage, Nueva York, 1999 (hay trad. cast.: *La vida: una biografía no autorizada*, Taurus, Madrid, 1999).
Fuller, Errol, *The Great Auk*, Abrams, Nueva York, 1999.

Gaskell, Jeremy, *Who Killed the Great Auk?*, Oxford University Press, Oxford, 2000.

Gattuso, Jean-Pierre y Lina Hansson (eds.), *Ocean Acidification*, Oxford University Press, Oxford, 2011.

Gleick, James, *Chaos: Making a New Science*, Viking, Nueva York, 1987 (hay trad. cast.: *Caos: la creación de una ciencia*, Seix Barral, Barcelona, 1998).

Glen, William (ed.), *The Mass-Extinction Debates: How Science Works in a Crisis*, Stanford University Press, Stanford, 1994.

Goodell, Jeff, *How to Cool the Planet: Geoengineering and the Audacious Quest to Fix Earth's Climate*, Houghton Mifflin Harcourt, Boston, 2010.

Gould, Stephen Jay, *The Panda's Thumb: More Reflections in Natural History*, Norton, 1980.

Grant, K. Thalia y Gregory B. Estes, *Darwin in Galápagos: Footsteps to a New World*, Princeton University Press, Princeton, 2009.

Grayson, Donald K. y David J. Meltzer, «A Requiem for North American Overkill», *Journal of Archaeological Science*, 30 (2003), pp. 585-593.

Green, Richard E., *et al.*, «A Draft Sequence of the Neandertal Genome», *Science*, 328 (2010), pp. 710-722.

Hallam, A., *Great Geological Controversies*, Oxford University Press, Oxford, 1983 (hay trad. cast.: *Grandes controversias geológicas*, RBA, Barcelona, 1994).

Hallam, A. y P. B. Wignall, *Mass Extinctions and Their Aftermath*, Oxford University Press, Oxford, 1997.

Hall-Spencer, Jason M., *et al.*, «Volcanic Carbon Dioxide Vents Show Ecosystem Effects of Ocean Acidification», *Nature*, 454 (2008), pp. 96-99.

Hamilton, Andrew J., *et al.*, «Quantifying Uncertainty in Estimation of Tropical Arthropod Species Richness», *American Naturalist*, 176 (2010), pp. 90-95.

Hannah, Lee Jay (ed.), *Saving a Million Species: Extinction Risk from Climate Change*, Island Press, Washington, D.C., 2012.

Haynes, Gary (ed.), *American Megafaunal Extinctions at the End of the Pleistocene*, Springer, Dordrecht, 2009.

Heatwole, Harold, Terence Done y Elizabeth Cameron, *Community Ecology of a Coral Cay: A Study of One Tree Island, Great Barrier Reef, Australia*, W. Junk, La Haya, 1981.

Hedeen, Stanley, *Big Bone Lick: The Cradle of American Paleontology*, University Press of Kentucky, Lexington, 2008.

Hepting, George H, «Death of the American Chestnut», *Forest and Conservation History*, 18 (1974), pp. 60-67.

Herbert, Sandra, *Charles Darwin, Geologist*, Cornell University Press, Ithaca, 2005.

Herrmann, E., *et al.*, «Humans Have Evolved Specialized Skills of Social Cognition: The Cultural Intelligence Hypothesis», *Science*, 317 (2007), pp. 1360-1366.

Hoegh-Guldberg, Ove, *et al.*, «Coral Reefs under Rapid Climate Change and Ocean Acidification», *Science*, 318 (2007), pp. 1737-1742.

Hoffmann, Michael, *et al.*, «The Impact of Conservation on the Status of the World's Vertebrates», *Science*, 330 (2010), pp. 1503-1509.

Holdaway, Richard N. y Christopher Jacomb, «Rapid Extinction of the Moas (Aves: Dinornithiformes): Model, Test, and Implications», *Science*, 287 (2000), pp. 2250-2254.

Hooke, Roger, José F. Martin-Duque y Javier Pedraza, «Land Transformation by Humans: A Review», *GSA Today*, 22 (2012), pp. 4-10.

Huggett, Richard J., *Catastrophism: Systems of Earth History*, E. Arnold, Londres, 1990.

Humboldt, Alexander von, *Views of Nature, or, Contemplations on the Sublime Phenomena of Creation with Scientific Illustrations*, traducción de Elsie C. Otté y Henry George Bohn, H. G. Bohn, Londres, 1850, pp. 213217 (hay trad. cast.: *Cuadros de la naturaleza*, Los Libros de la Catarata, Madrid, 2003).

Humboldt, Alexander von y Aimé Bonpland, *Essay on the Geography of Plants*, edición de Stephen T. Jackson, traducción de Sylvie Romanowski, University of Chicago Press, Chicago, 2008.

Hunt, Terry L, «Rethinking Easter Island's Ecological Catastrophe», *Journal of Archaeological Science*, 34 (2007), pp. 485-502.

Hutchings, P. A., Michael Kingsford y Ove Hoegh-Guldberg (eds.), *The Great Barrier Reef: Biology, Environment and Management*, CSIRO, Collingwood, Australia, 2008.

Janzen, Daniel H, «Why Mountain Passes Are Higher in the Tropics», *American Naturalist*, 101 (1967), pp. 233-249.

Jarrell, Randall y Maurice Sendak. *The Bat-Poet*, 1964, reimpresión en HarperCollins, Nueva York, 1996.

Johnson, Chris, *Australia's Mammal Extinctions: A 50,000 Year History*, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.

Kiessling, Wolfgang y Carl Simpson, «On the Potential for Ocean Acidification to Be a General Cause of Ancient Reef Crises», *Global Change Biology*, 17 (2011), pp. 56-67.

Knoll, A. H, «Biomineralization and Evolutionary History», *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 54 (2003), pp. 329-356.

Kudla, Marjorie L., Don E. Wilson y E. O. Wilson (eds.), *Biodiversity II: Understanding and Protecting Our Biological Resources*, Joseph Henry Press, Washington, D.C., 1997.

Kuhn, Thomas S., *The Structure of Scientific Revolutions*, 2.ª ed., University of Chicago Press, Chicago, 1970 (hay trad. cast.: *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica de España, Madrid, 1975).

Kump, Lee, Timothy Bralower y Andy Ridgwell, «Ocean Acidification in Deep Time», *Oceanography*, 22 (2009), pp. 94-107.

Kump, Lee R., Alexander Pavlov y Michael A. Arthur, «Massive Release of Hydrogen Sulfide to the Surface Ocean and Atmosphere during Intervals of Oceanic Anoxia», *Geology*, 33 (2005), p. 397.

Landman, Neil, *et al.*, «Mode of Life and Habitat of Scaphitid Ammonites», *Geobios*, 54 (2012), pp. 87-98.

Laurance, Susan G. W., *et al.*, «Effects of Road Clearings on Movement Patterns of Understory Rainforest Birds in Central Amazonia», *Conservation Biology*, 18 (2004), pp. 1099-1109.

Lawton, John H. y Robert M. May, *Extinction Rates*, Oxford University Press, Oxford, 1995.

Leakey, Richard E. y Roger Lewin, *The Sixth Extinction: Patterns of Life and the Future of Humankind*, 1995, reimpresión en Anchor, Nueva York, 1996.

Lee, R., *Memoirs of Baron Cuvier*, J. and J. Harper, Nueva York, 1833.

Lenton, Timothy M., *et al.*, «First Plants Cooled the Ordovician», *Nature Geoscience*, 5 (2012), pp. 86-89.

Levy, Sharon, *Once and Future Giants: What Ice Age Extinctions Tell Us about the Fate of Earth's Largest Animals*, Oxford University Press, Oxford, 2011.

Longrich, Nicholas R., Bhart-Anjan S. Bhullar y Jacques A. Gauthier, «Mass Extinction of Lizards and Snakes at the Cretaceous-Paleogene Boundary», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (2012), pp. 21396-21401.

Longrich, Nicholas R., T. Tokaryk y D. J. Field, «Mass Extinction of Birds at the Cretaceous-Paleogene (K-Pg) Boundary», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108 (2011), pp. 15253-15257.

Lopez, Barry, *Arctic Dreams* (1986), reimpresión de Vintage, Nueva York, 2001 (hay trad. cast.: *Sueños árticos: imaginación y deseo en un paisaje septentrional*, Península, Barcelona, 2000).

Lyell, Charles, *Travels in North America, Canada, and Nova Scotia with Geological Observations*, 2.ª ed., J. Murray, Londres, 1855.

—, *Geological Evidences of the Antiquity of Man; with Remarks on Theories of the Origin of Species by Variation*, 4.ª ed, revisada, Murray, Londres, 1873.

—, *Life, Letters and Journals of Sir Charles Lyell*, edición de Mrs. Lyell, J. Murray, Londres, 1881.

—, *Principles of Geology*, Vol. 1, University of Chicago Press, Chicago, 1990.

—, *Principles of Geology*, Vol. 2, University of Chicago Press, Chicago, 1990.

—, *Principles of Geology*, Vol. 3, University of Chicago Press, Chicago, 1991.

MacPhee, R. D. E. (ed.), *Extinctions in Near Time: Causes, Contexts, and Consequences*, Kluwer Academic/Plenum, Nueva York, 1999.

Maerz, John C., Victoria A. Nuzzo y Bernd Blossey, «Declines in Woodland Salamander Abundance Associated with Non-Native Earthworm and Plant Invasions», *Conservation Biology*, 23 (2009), pp. 975-981.

Maisels, Fiona, *et al.*, «Devastating Decline of Forest Elephants in Central Africa», *PLOS ONE*, 8 (2013).

Martin, Paul S. y Richard G. Klein (eds.), *Quaternary Extinctions: A Prehistoric Revolution*, University of Arizona Press, Tucson, 1984.

Martin, Paul S. y H. E. Wright (eds.), *Pleistocene Extinctions: The Search for a Cause*, Yale University Press, New Haven, 1967.

Marvin, Ursula B., *Continental Drift: The Evolution of a Concept*, Smithsonian Institution Press (distribuido por G. Braziller), Washington, D.C., 1973.

Mayr, Ernst, *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1982.

McCallum, Malcolm L., «Amphibian Decline or Extinction? Current Declines Dwarf Background Extinction Rates», *Journal of Herpetology*, 41 (2007), pp. 483-491.

Mendelson, Joseph R., «Shifted Baselines, Forensic Taxonomy, and Rabb's Fringelimbed Treefrog: The Changing Role of Biologists in an Era of Amphibian Declines and Extinctions», *Herpetological Review*, 42 (2011), pp. 21-25.

Mitchell, Alanna, *Seasick: Ocean Change and the Extinction of Life on Earth*, University of Chicago Press, Chicago, 2009.

Mitchell, Christen, *et al.*, *Hawaii's Comprehensive Wildlife Conservation Strategy*, Department of Land and Natural Resources, Honolulu, 2005.

Mittelbach, Gary G., *et al.*, «Evolution and the Latitudinal Diversity Gradient: Speciation, Extinction and Biogeography», *Ecology Letters*, 10 (2007), pp. 315-331.

Monks, Neale y Philip Palmer, *Ammonites*, Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., 2002.

Moum, Truls, *et al.*, «Mitochondrial DNA Sequence Evolution and Phylogeny of the Atlantic Alcidae, Including the Extinct Great Auk (*Pinguinus impennis*)», *Molecular Biology and Evolution*, 19 (2002), pp. 1434-1439.

Muller, Richard, *Nemesis*, Weidenfeld and Nicolson, Nueva York, 1988.

Musgrave, Ruth A., «Incredible Frog Hotel», *National Geographic Kids*, septiembre de 2008, pp. 16-19.

Newitz, Annalee, *Scatter, Adapt, and Remember: How Humans Will Survive a Mass Extinction*, Doubleday, Nueva York, 2013.

Newman, M. E. J. y Richard G. Palmer, *Modeling Extinction*, Oxford University Press, Oxford, 2003.

Newton, Alfred, «Abstract of Mr. J. Wolley's Researches in Iceland Respecting the Gare-Fowl or Great Auk», *Ibis*, 3 (1861), pp. 374-399.

Nitecki, Matthew H., ed. *Extinctions*, University of Chicago Press, Chicago, 1984.

Novacek, Michael J., *Terra: Our 100-Million-Year-Old Ecosystem—and the Threats That Now Put It at Risk*, Farrar, Straus and Giroux, Nueva York, 2007.

Olson, Valérie A. y Samuel T. Turvey, «The Evolution of Sexual Dimorphism in New Zealand Giant Moa (Dinornis) and Other Ratites», *Proceedings of the Royal Society B*, 280 (2013).

Orlando, Ludovic, *et al.*, «Ancient DNA Analysis Reveals Woolly Rhino Evolutionary Relationships», *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 28 (2003), pp. 485-499.

Outram, Dorinda, *Georges Cuvier: Vocation, Science and Authority in PostRevolutionary France*, Manchester University Press, Manchester, 1984.

Palmer, Trevor, *Perilous Planet Earth: Catastrophes and Catastrophism through the Ages*, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

Peale, Charles Willson, *The Selected Papers of Charles Willson Peale and His Family*, edición de Lillian B. Miller, Sidney Hart y Toby A. Appel, Yale University Press, New Haven (publicado para National Portrait Gallery, Smithsonian Institution), 1983-2000.

Phillips, John, *Life on the Earth*, Macmillan and Company, Cambridge, 1860.

Plaisance, Laetitia, *et al.*, «The Diversity of Coral Reefs: What Are We Missing?», *PLOS ONE*, 6 (2011).

Powell, James Lawrence, *Night Comes to the Cretaceous: Dinosaur Extinction and the Transformation of Modern Geology*, W. H. Freeman, Nueva York, 1998.

Quammen, David, *The Song of the Dodo: Island Biogeography in an Age of Extinctions*, 1996, reimpresión en Scribner, Nueva York, 2004.

—, *The Reluctant Mr. Darwin: An Intimate Portrait of Charles Darwin and the Making of His Theory of Evolution*, Atlas Books/Norton, Nueva York, 2006 (hay trad. cast.: *El remiso Mr. Darwin: un retrato íntimo de Charles Darwin y el desarrollo de la teoría de la evolución*, Antoni Bosch, Barcelona, 2008).

—, *Natural Acts: A Sidelong View of Science and Nature*, ed. revisada, Norton, Nueva York, 2008.

Rabinowitz, Alan, «Helping a Species Go Extinct: The Sumatran Rhino in Borneo», *Conservation Biology*, 9 (1995), pp. 482-488.

Randall, John E., Gerald R. Allen y Roger C. Steene, *Fishes of the Great Barrier Reef and Coral Sea*, University of Hawaii Press, Honolulu, 1990.

Raup, David M., *The Nemesis Affair: A Story of the Death of Dinosaurs and the Ways of Science*, Norton, Nueva York, 1986 (hay trad. cast.: *El Asunto Némesis: una historia sobre la muerte de los dinosaurios*, Alianza, Madrid, 1991).

—, *Extinction: Bad Genes or Bad Luck*?, Norton, Nueva York, 1991.

Raup, David M. y J. John Sepkoski Jr, «Periodicity of Extinctions in the Geologic Past», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 81 (1984), pp. 801-805.

—, «Mass Extinctions in the Marine Fossil Record», *Science*, 215 (1982), pp. 1501-1503.

Reich, David, *et al.*, «Genetic History of an Archaic Hominin Group from Denisova Cave in Siberia», *Nature*, 468 (2010), pp. 1053-1060.

Rettenmeyer, Carl W. *et al.*, «The Largest Animal Association Centered on One Species: The Army Ant *Eciton burchellii* and Its More Than 300 Associates», *Insectes Sociaux*, 58 (2011), pp. 281-292.

Rhodes, Frank H. T., Richard O. Stone y Bruce D. Malamud, *Language of the Earth: A Literary Anthology*, 2.ª ed., Wiley, Chichester, 2009.

Ricciardi, Anthony, «Are Modern Biological Invasions an Unprecedented Form of Global Change?», *Conservation Biology*, 21 (2007), pp. 329-336.

Rose, Kenneth D., *The Beginning of the Age of Mammals*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2006.

Rosenzweig, Michael L., *Species Diversity in Space and Time*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995.

Rudwick, M. J. S., *The Meaning of Fossils: Episodes in the History of Palaeontology*, 2.ª edición revisada, Science History, Nueva York, 1976 (hay trad. cast.: *El significado de los fósiles: episodios de la historia de la paleontología*, Blume, Madrid, 1976).

—, *Bursting the Limits of Time: The Reconstruction of Geohistory in the Age of Revolution*, University of Chicago Press, Chicago, 2005.

—, *Lyell and Darwin, Geologists: Studies in the Earth Sciences in the Age of Reform*, Ashgate, Aldershot, Inglaterra, 2005.

—, *Worlds Before Adam: The Reconstruction of Geohistory in the Age of Reform*, University of Chicago Press, Chicago, 2008.

Ruiz, Gregory M., *et al.*, «Invasion of Coastal Marine Communities in North America: Apparent Patterns, Processes, and Biases», *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31 (2000), pp. 481-531.

Rule, Susan, *et al.*, «The Aftermath of Megafaunal Extinction: Ecosystem Transformation in Pleistocene Australia», *Science*, 335 (2012), pp. 14831486.

Ruse, Michael y Joseph Travis (eds.), *Evolution: The First Four Billion Years*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass., 2009.

Schell, Jonathan, *The Fate of the Earth*, Knopf, Nueva York, 1982.

Sellers, Charles Coleman, *Mr. Peale's Museum: Charles Willson Peale and the First Popular Museum of Natural Science and Art*, Norton, Nueva York, 1980.

Semonin, Paul, *American Monster: How the Nation's First Prehistoric Creature Became a Symbol of National Identity*, New York University Press, Nueva York, 2000.

Severance, Frank H., *An Old Frontier of France: The Niagara Region and Adjacent Lakes under French Control*, Dodd, Nueva York, 1917.
Shen, Shu-zhong, *et al.*, «Calibrating the End-Permian Mass Extinction», *Science*, 334 (2011), p. 1367-1372.
Sheppard, Charles, Simon K. Davy y Graham M. Pilling, *The Biology of Coral Reefs*, Oxford University Press, Oxford, 2009.
Shreeve, James, *The Neandertal Enigma: Solving the Mystery of Modern Human Origins*, William Morrow, 1995.
Shrenk, Friedemann y Stephanie Müller, *The Neanderthals*, Routledge, Londres, 2009.
Silverman, Jacob, *et al.*, «Coral Reefs May Start Dissolving when Atmospheric $CO_2$ Doubles», *Geophysical Research Letters*, 35 (2009).
Simberloff, Daniel y Marcel Rejmánek (eds.), *Encyclopedia of Biological Invasions*, University of California Press, Berkeley, 2011.
Simpson, George Gaylord, *Why and How: Some Problems and Methods in Historical Biology*, Pergamon Press, Oxford, 1980.
Soto-Azat, Claudio, *et al.*, «The Population Decline and Extinction of Darwin’s Frogs», *PLOS ONE*, 8 (2013).
Stanley, Steven M., *Extinction*, Scientific American Library, Nueva York, 1987.
Stolzenburg, William, *Rat Island: Predators in Paradise and the World’s Greatest Wildlife Rescue*, Bloomsbury, Nueva York, 2011.
Straus, William L., Jr. y A. J. E. Cave, «Pathology and the Posture of Neanderthal Man», *Quarterly Review of Biology*, 32 (1957), pp. 348-363.

Sulloway, Frank J., «Darwin and His Finches: The Evolution of a Legend», *Journal of the History of Biology*, 15 (1982), pp. 1-53.

Taylor, Paul D., *Extinctions in the History of Life*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

Thomas, Chris D., *et al*., «Extinction Risk from Climate Change», *Nature*, 427 (2004), pp. 145-148.

Thomson, Keith Stewart, *The Legacy of the Mastodon: The Golden Age of Fossils in America*, Yale University Press, New Haven, 2008.

Todd, Kim, *Tinkering with Eden: A Natural History of Exotics in America*, Norton, Nueva York, 2001.

Tollefson, Jeff, «Splinters of the Amazon», *Nature*, 496 (2013), pp. 286-289.

Tripati, Aradhna K., Christopher D. Roberts y Robert A. Eagle, «Coupling of $CO_2$ and Ice Sheet Stability over Major Climate Transitions of the Last 20 Million Years», *Science*, 326 (2009), pp. 1394-1397.

Turvey, Samuel, *Holocene Extinctions*, Oxford University Press, Oxford, 2009.

Urrutia, Rocío y Mathias Vuille, «Climate Change Projections for the Tropical Andes Using a Regional Climate Model: Temperature and Precipitation Simulations for the End of the 21 st Century», *Journal of Geophysical Research*, 114 (2009).

Van Driesche, Jason y Roy Van Driesche, *Nature out of Place: Biological Invasions in the Global Age*, Island Press, Washington, D.C., 2000.

Veron, J. E. N., *A Reef in Time: The Great Barrier Reef from Beginning to End*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass., 2008.

—, «Is the End in Sight for the World’s Coral Reefs?», *e360*, publicado en línia el 6 de diciembre de 2010.

Wake, D. B. y V. T. Vredenburg, «Colloquium Paper: Are We in the Midst of the Sixth Mass Extinction? A View from the World of Amphibians», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (2008), pp. 11466-11473.

Wallace, Alfred Russel, *The Geographical Distribution of Animals with a Study of the Relations of Living and Extinct Faunas as Elucidating the Past Changes of the Earth's Surface*, Vol. 1, Harper and Brothers, Nueva York, 1876.

—, *Tropical Nature and Other Essays*, Macmillan, Londres, 1878.

—, *The Wonderful Century: Its Successes and Its Failures*, Dodd, Mead, Nueva York, 1898.

—, *The World of life: A Manifestation of Creative Power, Directive Mind and Ultimate Purpose*, Moffat, Yard, Nueva York, 1911.

Wegener, Alfred, *The Origin of Continents and Oceans*, traducción de John Biram, Dover, Nueva York, 1966.

Wells, Kentwood David, *The Ecology and Behavior of Amphibians*, University of Chicago Press, Chicago, 2007.

Welz, Adam, «The Dirty War against Africa's Remaining Rhinos», *e360*, publicado en línea el 27 de noviembre de 2012.

Whitfield, John, *In the Beat of a Heart: Life, Energy, and the Unity of Nature*, National Academies Press, Washington, D.C., 2006.

Whitmore, T. C. y Jeffrey Sayer (eds.), *Tropical Deforestation and Species Extinction*, Chapman and Hall, Londres, 1992.

Wilson, Edward O., «Threats to Biodiversity», *Scientific American*, septiembre de 1989, pp. 108-116 (hay trad. cast.: «La biodiversidad, amenazada», *Investigación y Ciencia*, noviembre de 1989).

—, *The Diversity of Life* (1992), reimpressión Norton, Nueva York, 1993 (hay trad. cast.: *La diversidad de la vida*, Crítica, 2001).

—, *The Future of Life* (2002), reimpresión de Vintage, Nueva York, 2003 (hay trad. cast.: *El futuro de la vida*, Galaxia Gutenberg, Barcelona, 2002).

Wilson, Leonard G., *Charles Lyell, the Years to 1841: The Revolution in Geology*, Yale University Press, New Haven, 1972.

Wollaston, Alexander F. R., *Life of Alfred Newton*, E. P. Dutton, Nueva York, 1921.

Worthy, T. H. y Richard N. Holdaway, *The Lost World of the Moa: Prehistoric Life of New Zealand*, Indiana University Press, Bloomington, 2002.

Zalasiewicz, Jan, *The Earth After Us: What Legacy Will Humans Leave in the Rocks*?, Oxford University Press, Oxford, 2008.

Zalasiewicz, Jan, *et al.*, «Are We Now Living in the Anthropocene?», *GSA Today*, 18 (2008), pp. 4-8.

Zalasiewicz, Jan, *et al.*, «Graptolites in British Stratigraphy», *Geological Magazine*, 146 (2009), pp. 785-850.

# Notas

1. Ruth A. Musgrave, «Incredible Frog Hotel», *National Geographic Kids*, sept. 2008, pp. 16-19.

2. D. B. Wake y V. T. Vredenburg, «Colloquium Paper: Are We in the Midst of the Sixth Mass Extinction? A View from the World of Amphibians», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (2008), pp. 11466-11473.

* Se refiere al género *Rheobatracus*, del noreste de Australia. Las dos especies se extinguieron durante la década de 1980. (*N. del t.*)

3. Martha L. Crump, *In Search of the Golden Frog*, University of Chicago Press, Chicago, 2000, p. 165.

4. Estoy en deuda con John Alroy por ayudarme a comprender lo que se esconde tras los cálculos de las tasas de extinción de fondo. Véase también el capítulo de Alroy «Speciation and Extinction in the Fossil Record of North American Mammals», en Roger Butlin, Jon Bridle y Dolph Schluter (eds.), *Speciation and Patterns of Diversity*, Cambridge University Press, Cambridge, 2009, pp. 310-323.

* Es decir, 5.500 especies30,25/($10^{6}$3especie3año) = 0,0014/año, o 1/0,0014 = 714 años. (*N. del t.*)

5. A. Hallam y P. B. Wignall, *Mass Extinctions and Their Aftermath*, Oxford University Press, Oxford, 1997, p. 1.

6. David Jablonski, «Extinctions in the Fossil Record», en John H. Lawton and Robert M. May (eds.), *Extinction Rates*, Oxford University Press, Oxford, 1995, p. 26.

7. Michael Benton, *When Life Nearly Died: The Greatest Mass Extinction of All Time*, Thames and Hudson, Nueva York, 2003, p. 10.

8. David M. Raup, *Extinction: Bad Genes or Bad Luck*?, Norton, Nueva York, 1991, p. 84.

9. John Alroy, comunicación personal, 9 de junio de 2013.

10. Joseph R. Mendelson, «Shifted Baselines, Forensic Taxonomy, and Rabb's Fringe-limbed Treefrog: The Changing Role of Biologists in an Era of Amphibian Declines and Extinctions», *Herpetological Review*, 42 (2011), pp. 21-25.

11. Malcolm L. McCallum, «Amphibian Decline or Extinction? Current Declines Dwarf Background Extinction Rates», *Journal of Herpetology*, 41 (2007), pp. 483-491.

12. Michael Hoffmann *et al.*, «The Impact of Conservation on the Status of the World's Vertebrates», *Science,* 330 (2010), pp. 1503-1509. Véase también *Spineless-Status and Trends of the World's Invertebrates*, un informe de la Sociedad Zoológica de Londres publicado el 31 de agosto de 2012.

1. Paul Semonin, *American Monster: How the Nation's First Prehistoric Creature Became a Symbol of National Identity*, New York University Press, Nueva York, 2000, p. 15.

2. Frank H. Severance, *An Old frontier of France: The Niagara Region and Adjacent Lakes under French Control*, Dodd, Nueva York, 1917, p. 320.

3. Citado en Claudine Cohen, *The Fate of the Mammoth: Fossils, Myth, and History*, University of Chicago Press, Chicago, 2002, p. 90.

4. Citado en Semonin, *American Monster*, pp. 147-148.

5. Cohen, *The Fate of the Mammoth*, p. 98.

6. Citado en Dorinda Outram, *Georges Cuvier: Vocation, Science and Authority in Post-Revolutionary France*, Manchester University Press, Manchester, 1984, p. 13.

7. Citado en Martin J. S. Rudwick, *Bursting the Limits of Time: The Reconstruction of Geohistory in the Age of Revolution*, University of Chicago Press, Chicago, 2005, p. 355.

8. Rudwick, *Bursting the Limits of Time*, p. 361.

9. Georges Cuvier y Martin J. S. Rudwick, *Georges Cuvier, Fossil Bones, and Geological Catastrophes: New Translations and Interpretations of the Primary Texts*, University of Chicago Press, Chicago, 1997, p. 19.

10. Citado en Stephen Jay Gould, *The Panda's Thumb: More Reflections in Natural History*, Norton, Nueva York, 1980, p. 146 (hay trad. cast.: *El pulgar del panda*, Crítica, Barcelona, 1994).

11. Cuvier y Rudwick, *Fossil Bones*, p. 49.

12. *Ibid.*, p. 56.

13. Rudwick, *Bursting the Limits of Time*, p. 501.

14. Charles Coleman Sellers, *Mr. Peale's Museum: Charles Willson Peale and the First Popular Museum of Natural Science and Art*, Norton, Nueva York, 1980, p. 142.

15. Charles Willson Peale, *The Selected Papers of Charles Willson Peale and His Family,* editado por Lillian B. Miller, Sidney Hart y David C. Ward, vol. 2, pt. 1, Yale University Press, New Haven, 1988, p. 408.

16. *Ibid.*, vol. 2, pt. 2, p. 1189.

17. *Ibid.*, vol. 2, pt. 2, p. 1201.

18. Citado en Toby A. Appel, *The Cuvier-Geoffroy Debate: French Biology in the Decades before Darwin*, Oxford University Press, Oxford,1987, p. 192.

19. Citado en Martin J. S. Rudwick, *Worlds Before Adam: The Reconstruction of Geohistory in the Age of Reform*, University of Chicago Press, Chicago, 2008, p. 32.

20. Cuvier y Rudwick, *Fossil Bones*, p. 217.

21. Citado en Richard Wellington Burkhardt, *The Spirit of System: Lamarck and Evolutionary Biology*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1977, p. 199.

22. Cuvier y Rudwick, *Fossil Bones*, p. 229.

23. Rudwick, *Bursting the Limits of Time*, p. 389.

24. Cuvier y Rudwick, *Fossil Bones*, p. 228.

25. Georges Cuvier, «Elegy of Lamarck», *Edinburgh New Philosophical Journal*, 20 (1836), pp. 1-22.

26. Cuvier y Rudwick, *Fossil Bones*, p. 190.

27. *Ibid.*, 261.

1. Rudwick, *Worlds Before Adam*, p. 358.

2. Leonard G. Wilson, «Lyell: The Man and His Times», en Derek J. Blundell y Andrew C. Scott (eds.), *Lyell: The Past Is the Key to the Present*, Geological Society, Bath, 1998, p. 21.

3. Charles Lyell, *Life, Letters and Journals of Sir Charles Lyell*, edición de Mrs. Lyell, vol., John Murray, Londres, 1881, p. 249.

4. Charles Lyell. *Principles of Geology*, vol. 1, University of Chicago Press, Chicago, 1990, p. 123.

5. *Ibid.*, vol. 1, p. 153.

6. Leonard G. Wilson, *Charles Lyell, the Years to 1841: The Revolution in Geology*, Yale University Press, New Haven, 1972, p. 344.

7. A. Hallam, *Great Geological Controversies*, Oxford University Press, Oxford, 1983, p. ix (hay trad. cast.: *Grandes controversias geológicas*, RBA, Barcelona, 1994).

8. Para una discusión sobre el significado de la viñeta, véase Martin J. S. Rudwick, *Lyell and Darwin, Geologists: Studies in the Earth Sciences in the Age of Reform*, Ashgate, Aldershoot, 2005, p. 537-540.

9. Frank J. Sulloway, «Darwin and His Finches: The Evolution of a Legend», *Journal of the History of Biology*, 15 (1982), pp. 1-53.

10. Lyell, *Principles of Geology*, vol. 1, p. 476.

11. Sandra Herbert, *Charles Darwin, Geologist*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 2005, p. 63.

12. Claudio Soto-Azat *et al.*, «The Population Decline and Extinction of Darwin's Frogs», *PLOS ONE,* 8 (2013), p. e66957.

13. David Dobbs, *Reef Madness: Charles Darwin, Alexander Agassiz, and the Meaning of Coral*, Pantheon, Nueva York, 2005, p. 152.

14. Rudwick, *Worlds before Adam*, p. 491.

15. Janet Browne, *Charles Darwin: Voyaging*, Knopf, Nueva York, 1995, p. 186.

16. Charles Lyell, *Principles of Geology*, vol. 2, University of Chicago Press, Chicago, 1990, p. 124.

17. Ernst Mayr, *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1982, p. 407.

18. Charles Darwin, *On the Origin of Species: A Facsimile of the First Edition*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1964, p. 84 (hay trad. cast.: *El origen de las especies* [6.ª ed.], Alianza, Madrid, 2013).

19. *Ibid.*, p. 320.

20. *Ibid.*, p. 320.

21. *Ibid.*, p. 318.

22. Errol Fuller, *The Great Auk*, Abrams, Nueva York, 1999, p. 197.

23. Truls Moum *et al.*, «Mitochondrial DNA Sequence Evolution and Phylogeny of the Atlantic Alcidae, Including the Extinct Great Auk (*Pinguinus impennis*),» *Molecular Biology and Evolution,* 19 (2002), pp. 14341439.

24. Jeremy Gaskell, *Who Killed the Great Auk?* (Oxford: Oxford University Press, 2000), p. 8.

25. *Ibid.*, p. 9.

26. Citado en Fuller, *The Great Auk*, p. 64.

27. Citado en Gaskell, *Who Killed the Great Auk*?, p. 87.

28. Fuller, *The Great Auk*, p. 64.

29. Citado en *ibid.*, pp. 65-66.

30. Tim Birkhead, «How Collectors Killed the Great Auk», *New Scientist*, 142 (1994), p. 26.

31. Citado en Gaskell, *Who Killed the Great Auk*?, p. 109.

32. Citado en *ibid.*, p. 37. Gaskell también señala la contradicción en la descripción de Audubon.

33. Fuller, *The Great Auk*, pp. 228-229.

34. Alfred Newton, «Abstract of Mr. J. Wolley's Researches in Iceland Respecting the Gare-Fowl or Great Auk», *Ibis*, 3 (1861), p. 394.

35. Alexander F. R. Wollaston, *Life of Alfred Newton*, E. P. Dutton, Nueva York, 1921, p. 52.

36. Citado en *ibid.*, p. 112.

37. Citado en *ibid.*, p. 121.

38. La mayor parte de la correspondencia de Darwin (no toda) está disponible en línea para cualquier interesado; Elizabeth Smith, del Darwin Correspondence Project, tuvo la amabilidad de realizar una búsqueda de la base de datos entera.

39. Thalia K. Grant y Gregory B. Estes, *Darwin in Galápagos: Footsteps to a New World,* Princeton University Press, Princeton, 2009, p. 123.

40. *Ibid.*, p. 122.

41. David Quammen, *The Reluctant Mr. Darwin: An Intimate Portrait of Charles Darwin and the Making of His Theory of Evolution,* Atlas Books/ Norton, Nueva York, 2006, p. 209 (hay trad. cast.: *El remiso Mr. Darwin: un retrato íntimo de Charles Darwin y el desarrollo de la teoría de la evolución*, Antoni Bosch, Barcelona, 2008).

1. Walter Alvarez, «Earth History in the Broadest Possible Context», Ninety-Seventh Annual Faculty Research Lecture, University of California, Berkeley, International House, pronunciada el 29 de abril de 2010.

2. Walter Alvarez, *T. rex and the Crater of Doom*, Princeton University Press, Princeton, 1997, p. 139 (hay trad. cast.: *Tyrannosaurus rex y el cráter de la muerte*, Crítica, Barcelona, 1998).

3. *Ibid.*, p. 69.

4. Richard Muller, *Nemesis*, Weidenfeld and Nicolson, Nueva York, 1988, p. 51.

5. Citado en Charles Officer y Jake Page, «The K-T Extinction», en Frank H. T. Rhodes, Richard O. Stone y Bruce D. Malamud (eds.) *Language of the Earth: A Literary Anthology*, 2.ª ed., Wiley, Chichester, Inglaterra, 2009, p. 183.

6. Citado en Malcolm W. Browne, «Dinosaur Experts Resist Meteor Extinction Idea», *New York Times*, 29 de octubre de 1985.

7. Editorial del *New York Times*, «Miscasting the Dinosaur's Horoscope», *New York Times*, 2 de abril de 1985.

8. Lyell, *Principles of Geology*, vol. 3, University of Chicago Press, Chicago, 1991, p. 328.

9. David M. Raup, *The Nemesis Affair: A Story of the Death of Dinosaurs and the Ways of Science*, Norton, 1986, Nueva York, p. 58.

10. Darwin, *On the Origin of Species*, p. 310-311.

11. *Ibid.*, p. 73.

12. George Gaylord Simpson, *Why and How: Some Problems and Methods in Historical Biology*, Pergamon Press, Oxford, 1980, p. 35.

13. Citado en Browne, «Dinosaur Experts Resist Meteor Extinction Idea».

14. B. F. Bohor *et al.*, «Mineralogic Evidence for an Impact Event at the Cretaceous-Tertiary Boundary», *Science*, 224 (1984), pp. 867-869.

15. Neil Landman *et al.*, «Mode of Life and Habitat of Scaphitid Ammonites», *Geobios* 54 (2012), pp. 87-98.

16. Comunicación personal, Steve D’Hondt, 5 de enero de 2012.

17. Nicholas R. Longrich, T. Tokaryk y D. J. Field, «Mass Extinction of Birds at the Cretaceous-Paleogene (K-Pg) Boundary», *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 108 (2011), pp. 15253-15257.

18. Nicholas R. Longrich, Bhart-Anjan S. Bhullar y Jacques A. Gauthier, «Mass Extinction of Lizards and Snakes at the Cretaceous-Paleogene Boundary», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (2012), pp. 21396-21401.

19. Kenneth Rose, *The Beginning of the Age of Mammals*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2006, p. 2.

20. Paul D. Taylor, *Extinctions in the History of Life*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004, p. 2.

1. Jerome S. Bruner y Leo Postman, «On the Perception of Incongruity: A Paradigm», *Journal of Personality* 18 (1949), pp. 206-223. Estoy en deuda con James Gleick por llamar mi atención sobre este experimento; véase *Chaos: Making a New Science*, Viking, Nueva York, 1987, p. 35 (hay trad. cast.: *Caos: la creación de una ciencia*, Seix Barral, Barcelona, 1998).

2. Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2.ª ed., University of Chicago Press, Chicago, 1970, p. 64 (hay trad. cast.: *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica de España, Madrid, 1975).

3. Citado en Patrick John Boylan, «William Buckland, 1784-1859: Scientific Institutions, Vertebrate Paleontology and Quaternary Geology», Tesis doctoral, University of Leicester, Inglaterra, 1984, p. 468.

4. William Glen, *Mass Extinction Debates: How Science Works in a Crisis*, Stanford University Press, Stanford, 1994, p. 2.

* Una útil regla mnemotécnica para recordar los periodos geológicos de los últimos 500 millones de años es (en inglés): **C**amels **O**ften **S**it **D**own **C**arefully, **P**erhaps **T**heir **J**oints **C**reak (Cámbrico - Ordovícico - Silúrico - Devónico - Carbonífero - Pérmico - Triásico - Jurásico - Cretácico). Es una pena que la regla se rompa antes de llegar a los periodos más recientes: Paleógeno, Neógeno y el actual, el Cuaternario. [Si hay alguna buena regla mnemónica en castellano, este traductor las desconoce, pero para lo que valgan, aquí van dos posibilidades: **C**uando **O**igas **S**ilbidos **D**e **C**oba, **P**ercibe **T**ambién **J**ustas **C**ríticas; o bien: **Cam**bista **Ord**ena **Sil**encios **Dev**aluados, **Car**tas **Per**niciosas y **Tri**stes **Jur**amentos **Cre**tinos (*N. del t.*).]

5. Hallam y Wignall*, Mass Exinctions and Their Aftermath*, p. 4.

6. Richard A. Fortey, *Life: A Natural History of the First Four Billion Years of Life on Earth*, Vintage, Nueva York, 1999, p. 135 (hay trad. cast.: *La vida: una biografía no autorizada*, Taurus, Madrid, 1999).

7. David M. Raup y J. John Sepkoski Jr., «Periodicity of Extinctions in the Geologic Past», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 81 (1984), pp. 801-805.

8. Raup, *The Nemesis Affair*, p. 19.

9. Editorial de *New York Times*, «Nemesis of Nemesis», *New York Times*, 7 de julio de 1985.

10. Luis W. Alvarez, «Experimental Evidence That an Asteroid Impact Led to the Extinction of Many Species 65 Million Years Ago», *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 80 (1983), p. 633.

11. Timothy M. Lenton *et al.*, «First Plants Cooled the Ordovician», *Nature Geoscience*, 5 (2012), pp. 86-89.

12. Timothy Kearsey *et al.*, «Isotope Excursions and Palaeotemperature Estimates from the Permian/Triassic Boundary in the Southern Alps (Italy)» *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 279 (2009), pp. 29-40.

13. Shu-zhong Shen *et al.*, «Calibrating the End- Permian Mass Extinction», *Science*, 334 (2011), pp. 1367-1372.

14. Lee R. Kump, Alexander Pavlov y Michael A. Arthur, «Massive Release of Hydrogen Sulfide to the Surface Ocean and Atmosphere during Intervals of Oceanic Anoxia», *Geology*, 33 (2005), pp. 397-400.

15. Carl Zimmer, introducción a la edición rústica de *T. Rex and the Crater of Doom*, Princeton University Press, Princeton, 2008, p. xv.

16. Jan Zalasiewicz, *The Earth After Us: What Legacy Will Humans Leave in the Rocks*?, Oxford University Press, Oxford, 2008, p. 89.

17. *Ibid.*, p. 240.

18. Citado en William Stolzenburg, *Rat Island: Predators in Paradise and the World's Greatest Wildlife Rescue*, Bloomsbury, Nueva York, 2011, p. 21.

19. Terry L. Hunt, «Rethinking Easter Island's Ecological Catastrophe», *Journal of Archaeological Science*, 34 (2007), pp. 485-502.

20. Zalasiewicz, *The Earth After Us*, p. 9.

21. Paul J. Crutzen, «Geology of Mankind», *Nature,* 415 (2002), p. 23.

22. Jan Zalasiewicz *et al.*, «Are We Now Living in the Anthropocene?», *GSA Today*, 18 (2008), p. 6.

* La concentración atmosférica media anual de $CO_2$ en el Observatorio de Mauna Loa fue de 396,48 ppm en 2013; sin embargo, la concentración de $CO_2$ varía estacionalmente, y en 2014 se superó por primera vez la barrera de 400 ppm. Véase, por ejemplo, http://co2now.org (*N. del t.*)

* La escala de pH va de 0 a 14. El 7 es un valor neutral; cualquier otro valor por encima es básico o alcalino y por debajo es ácido. El agua de mar es naturalmente alcalina, de manera que a medida que baja el pH, el proceso que generalmente denominamos acidificación de los océanos podría también llamarse, aunque de forma menos llamativa, reducción de la alcalinidad del océano.

1. Jason M. Hall-Spencer *et al.*, «Volcanic Carbon Dioxide Vents Show Ecosystem Effects of Ocean Acidification», *Nature*, 454 (2008), pp. 96-99. Detalles extraídos de las tablas suplementarias.

2. Ulf Reibesell, comunicación personal, 6 de agosto de 2012.

3. Wolfgang Kiessling y Carl Simpson, «On the Potential for Ocean Acidification to Be a General Cause of Ancient Reef Crises», *Global Change Biology*, 17 (2011), pp. 56-67.

4. Andrew H. Knoll, «Biomineralization and Evolutionary History», *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 54 (2003), pp. 329-356.

5. Hall-Spencer *et al.*, «Volcanic Carbon Dioxide Vents Show Ecosystem Effects of Ocean Acidification», *Nature*, 454 (2008), pp. 96-99.

6. Agradezco a Chris Cabine (NOAA's PMEL Carbon Program) las cifras actualizadas de emisiones atmosféricas y captación de dióxido de carbono por los océanos.

7. Rachel Carson, *Silent Spring*, edición del 40 aniversario, Houghton Mifflin, Boston, 2002, p. 6 (hay trad. cast.: *Primavera silenciosa*, Crítica, 2001).

8. Jennifer Chu, «Timeline of a Mass Extinction», MIT News Office, publicado en línia el 18 de noviembre de 2011.

9. Lee Kump, Timothy Bralower y Andy Ridgwell, «Ocean Acidification in Deep Time», *Oceanography*, 22 (2009), p. 105.

1. Citado en James Bowen y Margarita Bowen, *The Great Barrier Reef: History, Science, Heritage*, Cambridge University Press, Cambridge, 2002, p. 11.

2. Citado en *ibid.*, p. 2.

3. Dobbs, *Reef Madness*, pp. 147-148. Lyell atribuyó la idea por error a Adelbert von Chamisso, un naturalista que acompañó a Otto von Kotzebue.

4. *Ibid.*, p. 256.

5. Charles Sheppard, Simon K. Davy y Graham M. Pilling, *The Biology of Coral Reefs*, Oxford University Press, Oxford, 2009, p. 278.

6. Ove Hoegh-Guldberg *et al.*, «Coral Reefs under Rapid Climate Change and Ocean Acidification», *Science,* 318 (2007), pp. 1737-1742.

7. Ken Caldeira y Michael E. Wickett, «Anthropogenic Carbon and Ocean pH», *Nature*, 425 (2003), p. 365.

8. Katherina E. Fabricius *et al.*, «Losers and Winners in Coral Reefs Acclimatized to Elevated Carbon Dioxide Concentrations», *Nature Climate Change*, 1 (2011), pp. 165-169.

9. J. E. N. Veron, «Is the End in Sight for the World's Coral Reefs?» *e360,* publicado en línea el 6 de diciembre de 2010.

10. Glenn De'ath *et al.*, «The 27-Year Decline of Coral Cover on the Great Barrier Reef and Its Causes», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (2012), pp. 17995-17999.

11. Jacob Silverman *et al.*, «Coral Reefs May Start Dissolving when Atmospheric $CO_2$ Doubles», *Geophysical Research Letters*, 36 (2009), p. L05606.

12. Laetitia Plaisance *et al.*, «The Diversity of Coral Reefs: What Are We Missing?», *PLOS ONE*, 6 (2011), p. e25026.

13. Kent E. Carpenter *et al.*, «One-Third of Reef-Building Corals Face Elevated Extinction Risk from Climate Change and Local Impacts», *Science*, 321 (2008), pp. 560-563.

14. Por June Chilvers, reimpreso en Harold Heatwole, Terence Done y Elizabeth Cameron, *Community Ecology of a Coral Cay: A Study of OneTree Island, Great Barrier Reef*, *Australia*,W. Junk, La Haya, 1981, p. v.

1. Barry Lopez, *Arctic Dreams* (1986), reimpresión de Vintage, Nueva York, 2001, p. 29 (hay trad. cast.: *Sueños árticos: imaginación y deseo en un paisaje septentrional*, Península, Barcelona, 2000).

2. Gordon P. DeWolf, *Native and Naturalized Trees of Massachusetts*, Cooperative Extension Service, University of Massachusetts, Amherst, 1978.

* Unas 27 hectáreas. (*N. del t.*) (Una teoría relacionada pero ligeramente distinta dice que las temperaturas más altas conducen por sí mismas a una mayor tasa de mutación.)

3. John Whitfield, *In the Beat of a Heart: Life, Energy, and the Unity of Nature*, National Academies Press, Washington, D.C., 2006, p. 212.

4. Alexander von Humboldt y Aimé Bonpland, *Essay on the Geography of Plants*, edición de Stephen T. Jackson, traducción de Sylvie Romanowski, University of Chicago Press, Chicago, 2008, p. 75.

5. Alexander von Humboldt, *Views of Nature, or, Contemplations on the Sublime Phenomena of Creation with Scientific Illustrations*, traducción de Elsie C. Otté y Henry George Bohn, H. G. Bohn, Londres, 1850, pp. 213217 (hay trad. cast.: *Cuadros de la naturaleza*, Los Libros de la Catarata, Madrid, 2003).

6. Muchas de las teorías sobre el gradiente latitudinal de diversidad se encuentran resumidas en Gary G. Mittelbach *et al.*, «Evolution and the Latitudinal Diversity Gradient: Speciation, Extinction and Biogeography», *Ecology Letters*, 10 (2007), pp. 315-331.

7. Daniel H. Janzen, «Why Mountain Passes Are Higher in the Tropics», *American Naturalist*, 101 (1967), pp. 233-249.

8. Alfred R. Wallace, *Tropical Nature and Other Essays*, Macmillan, Londres, 1878, p. 123.

9. Kenneth J. Feeley *et al.*, «Upslope Migration of Andean Trees», *Journal of Biogeography*, 38 (2011), pp. 783-791.

10. Alfred R. Wallace, *The Wonderful Century: Its Successes and Its Failure*, Dodd, Mead, Nueva York, 1898, p. 130.

11. Darwin, *On the Origin of Species*, pp. 366-367.

12. Rocío Urrutia y Mathias Vuille, «Climate Change Projections for the Tropical Andes Using a Regional Climate Model: Temperature and Precipitation Simulations for the End of the 21t Century», *Journal of Geophysical Research*, 114 (2009).

13. Alessandro Catenazzi *et al.*, «*Batrachochytrium dendrobatidis* and the Collapse of Anuran Species Richness and Abundance in the Upper Manú National Park, Southeastern Peru», *Conservation Biology*, 25 (2011), pp. 382-391.

* Es importante observar que *z* siempre es inferior a 1, y suele situarse entre 0,20 y 0,35. (*N. de la a.*)

14. Anthony D. Barnosky, *Heatstroke: Nature in an Age of Global Warming*, Island Press/Shearwater Books, Washington, D.C., 2009, pp. 55-56.

15. Chris D. Thomas *et al.*, «Extinction Risk from Climate Change», *Nature*, 427 (2004), pp. 145-148.

16. Chris Thomas, «First Estimates of Extinction Risk from Climate Change», en Lee Jay Hannah (ed.), *Saving a Million Species: Extinction Risk from Climate Change,* Island Press, Washington, D.C., 2012, pp. 1718.

* John Chapman (1774-1845), conocido con el sobrenombre de Johnny Appleseed («semilla de manzano»), es un personaje histórico responsable de la cría e introducción de los manzanos en diversos estados de Estados Unidos. (*N. del t.*)

17. Aradhna K. Tripati, Christopher D. Roberts y Robert E. Eagle, «Coupling of $CO_2$ and Ice Sheet Stability over Major Climate Transitions of the Last 20 Million Years», *Science*, 326 (2009), pp. 1394-1397.

1. «Jeff Tollefson, «Splinters of the Amazon», *Nature*, 496 (2013), p. 286.

2. *Ibid.*

3. Roger LeB. Hooke, José F. Martín-Duque y Javier Pedraza, «Land Transformation by Humans: A Review», *GSA Today*, 22 (2012), pp. 4-10.

4. Erle C. Ellis y Navin Ramankutty, «Putting People in the Map: Anthropogenic Biomes of the World», *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6 (2008), pp. 439-447.

5. Richard O. Bierregard *et al.*, *Lessons from Amazonia: The Ecology and Conservation of a Fragmented Forest*, Yale University Press, New Haven, 2001, p. 41.

6. Jared Diamond, «The Island Dilemma: Lessons of Modern Biogeographic Studies for the Design of Natural Reserves», *Biological Conservation*, 7 (1975), pp. 129-146.

7. Jared Diamond, «“Normal” Extinctions of Isolated Populations», in *Extinctions*, editado por Matthew H. Nitecki, University of Chicago Press, Chicago, 1984, p. 200.

8. Susan G. W. Laurance *et al.*, «Effects of Road Clearings on Movement Patterns of Understory Rainforest Birds in Central Amazonia», *Conservation Biology*, 18 (2004), pp. 1099-1109.

9. E. O. Wilson, *The Diversity of Life* (1992), reimpresión Norton, Nueva York, 1993, pp. 3-4 (hay trad. cast.: *La diversidad de la vida*, Crítica, 2001).

10. Carl W. Rettenmeyer *et al.*, «The Largest Animal Association Centered on One Species: The Army Ant *Eciton burchellii* and Its More Than 300 Associates», *Insectes Sociaux*, 58 (2011), pp. 281-292.

11. *Ibid.*

12. Terry L. Erwin, «Tropical Forests: Their Richness in Coleoptera and Other Arthropod Species», *Coleopterists Bulletin*, 36 (1982), pp. 74-75.

13. Andrew J. Hamilton *et al.*, «Quantifying Uncer- tainty in Estimation of Tropical Arthropod Species Richness», *American Naturalist*, 176 (2010), pp. 90-95.

14. E. O. Wilson, «Threats to Biodiversity», *Scientific American*, septiembre de 1989, pp. 108-116 (hay trad. cast.: «La biodiversidad, amenazada», *Investigación y Ciencia*, noviembre de 1989).

15. John H. Lawton y Robert M. May, *Extinction Rates*, Oxford University Press, Oxford, 1995, p. v.

16. «Spineless: Status and Trends of the World’s Invertebrates», publicado en línea el 31 de julio de 2012, p. 17.

17. Thomas E. Lovejoy, «Biodiversity: What Is It?» en Marjorie L. Kudla, Don E. Wilson y E. O. Wilson (eds.), *Biodiversity II: Understanding and Protecting Our Biological Resources*, edición de Joseph Henry Press, Washington, D.C., 1997, p. 12.

* En la actualidad la especie se denomina *Pseudogymnoascus destructans*. (*N. del t.*)

1. Charles Darwin, carta a J. D. Hooker, 19 de abril de 1855, Darwin Correspondence Project, Cambridge University.

2. Charles Darwin, carta a *Gardeners' Chronicle*, 21 de mayo de 1855, Darwin Correspondence Project, Cambridge University.

3. Darwin, *On the Origin of Species*, p. 385.

4. *Ibid.*, p. 394.

5. Alfred Wegener, *The Origin of Continents and Oceans*, traducción de John Biram, Dover, Nueva York, 1966, p. 17 (hay trad. cast.: *El origen de los continentes y océanos*, Crítica, Barcelona, 2009).

6. Mark A. Davis, *Invasion Biology*, Oxford University Press, Oxford, 2009, p. 22.

7. Anthony Ricciardi, «Are Modern Biological Invasions an Unprecedented Form of Global Change?», *Conservation Biology*, 21 (2007), pp. 329336.

8. Randall Jarrell y Maurice Sendak, *The Bat-Poet* (1964), reimpresión de HarperCollins, Nueva York, 1996, p. 1.

9. Paul M. Cryan *et al.*, «Wing Pathology of White-Nose Syndrome in Bats Suggests Life-Threatening Disruption of Physiology», *BMC Biology* 8 (2010).

10. Esta historia del escabajo japonés está extraída de Charles S. Elton, *The Ecology of Invasions by Animals and Plants* (1958), reimpresión de University of Chicago Press, Chicago, 2000, pp. 51-53.

11. Jason van Driesche y Roy van Driesche, *Nature out of Place: Biological Invasions in the Global Age*, Island Press, Washington, D.C., 2000, p. 91.

12. La información sobre los caracoles terrestres de Hawái está extraída de Christen Mitchell *et al.*, *Hawaii's Comprehensive Wildlife Conservation Strategy*, Department of Land and Natural Resources, Honolulu, 2005.

13. David Quammen, *The Song of the Dodo: Island Biogeography in an Age of Extinctions* (1996), reimpresión de Scribner, Nueva York, 2004, p. 333.

14. Van Driesche y Van Driesche, *Nature out of Place*, p. 123.

15. George H. Hepting, «Death of the American Chestnut», *Forest and Conservation History*, 18 (1974), p. 60.

16. Paul Somers, «The Invasive Plant Problem», http:// www.mass.gov/ eea/docs/dfg/nhesp/land-protection-and-management /invasive-plant-pro blem.pdf.

17. John C. Maerz, Victoria A. Nuzzo y Bernd Blossey, «Declines in Woodland Salamander Abundance Associated with Non-Native Earthworm and Plant Invasions», *Conservation Biology*, 23 (2009), pp. 975-981.

* El satanelo septentrional (*Dasyurus hallucatus*) es un pequeño marsupial carnívoro de Australia. (*N. del t.*)

18. «Operation Toad Day Out: Tip Sheet», Townsville City Council, <http://www.townsville.qld.gov.au/resident/ pests/Documents/TDO%20 2012_Tip%20Sheet.pdf>.

19. Steven L. Chown *et al.*, «Continent-wide Risk Assessment for the Establishment of Nonindigenous Species in Antarctica», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (2012), pp. 4938-4943.

20. Alan Burdick, *Out of Eden: An Odyssey of Ecological Invasion,* Farrar, Straus and Giroux, Nueva York, 2005, p. 29.

21. Jennifer A. Leonard *et al.*, «Ancient DNA Evidence for Old World Origin of New World Dogs», *Science*, 298 (2002), pp. 1613-1616.

22. Citado en Kim Todd, *Tinkering with Eden: A Natural History of Exotics in America*, Norton, Nueva York, 2001, pp. 137-138.

23. Peter T. Jenkins, «Pet Trade», in *Encyclopedia of Biological Invasions*, editado por Daniel Simberloff and Marcel Rejmánek, University of California Press, Berkeley, 2011, pp. 539-543.

24. Gregory M. Ruiz *et al.*, «Invasion of Coastal Marine Communities of North America: Apparent Patterns, Processes, and Biases», *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31 (2000), pp. 481-531.

25. Van Driesche y Van Driesche, *Nature out of Place*, p. 46.

26. Elton, *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*, pp. 50-51.

27. James H. Brown, *Macroecology*, University of Chicago Press, Chicago, 1995, p. 220.

1. Ludovic Orlando *et al.*, «Ancient DNA Analysis Reveals Woolly Rhino Evolutionary Relationships», *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 28 (2003), pp. 485-499.

2. E. O. Wilson, *The Future of Life* (2002), reimpresión de Vintage, Nueva York, 2003, p. 80 (hay trad. cast.: *El futuro de la vida*, Galaxia Gutenberg, Barcelona, 2002).

3. Adam Welz, «The Dirty War Against Africa's Remaining Rhinos», *e360*, publicado en línea el 27 de noviembre de 2012.

4. Fiona Maisels *et al.*, «Devas- tating Decline of Forest Elephants in Central Africa», *PLOS ONE*, 8 (2013).

5. Thomas Lovejoy, «A Tsunami of Extinction», *Scientific American*, diciembre de 2012, pp. 33-34.

6. Tim F. Flannery, *The Future Eaters*: *An Ecological History of the Australasian Lands and People,* G. Braziller, Nueva York, 1995, p. 55.

7. Valérie A. Olson y Samuel T. Turvey, «The Evolution of Sexual Dimorphism in New Zealand Giant Moa (Dinornis) and Other Ratites», *Proceedings of the Royal Society B*, 280 (2013).

8. Alfred Russel Wallace, *The Geographical Distribution of Animals with a Study of the Relations of Living and Extinct Faunas as Elucidating the Past Changes of the Earth's Surface*, vol. 1, Harper and Brothers, Nueva York, 1876, p. 150.

9. Robert Morgan, «Big Bone Lick», publicado en línea en http:// www.big-bone-lick.com/2011/10/.

10. Charles Lyell, *Travels in North America, Canada, and Nova Scotia with Geological Observations*, 2.ª ed., J. Murray, Londres, 1855, p. 67.

11. Charles Lyell, *Geological Evidences of the Antiquity of Man, with Remarks on Theories of the Origin of Species by Variation*, 4.ª ed. revisada, J. Murray, Londres, 1873, p. 189.

12. Citado en Donald K. Grayson, «Nineteenth Century Explanations», en Paul S. Martin y Richard G. Klein (eds.), *Quaternary Extinctions: A Prehistoric Revolution*, University of Arizona Press, Tucson, 1984, p. 32.

13. Wallace, *The Geographical Distribution of Animals*, pp. 150-151.

14. Alfred R. Wallace, *The World of Life: A Manifestation of Creative Power, Directive Mind and Ultimate Purpose*, Moffat, Yard, Nueva York, 191), p. 264.

15. Paul S. Martin, «Prehistoric Overkill», en Paul S. Martin y H. E. Wright (eds.), *Pleistocene Extinctions: The Search for a Cause*, Yale University Press, New Haven, 1967, p. 115.

16. Jared Diamond, *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*, Norton, Nueva York, 1997, p. 43 (hay trad. cast.: *Armas, gérmenes y acero: la sociedad humana y sus destinos*, Debate, Barcelona, 1998).

17. Susan Rule *et al.*, «The Aftermath of Megafaunal Extinction: Ecosystem Transformation in Pleistocene Australia», *Science*, 335 (2012), pp. 1483-1486.

18. John Alroy, «A Multispecies Overkill Simulation of the End-Pleistocene Megafaunal Mass Extinction», *Science*, 292 (2001), pp. 1893-1896.

19. John Alroy, «Putting North America's End-Pleistocene Megafaunal Extinction in Context», en Ross D. E. MacPhee (ed.), *Extinctions in Near Time: Causes, Contexts, and Consequences*, Kluwer Academic/Plenum, Nueva York, 1999, p. 138.

* Yogi Berra (*n.* 1929) fue un famoso jugador de béisbol vinculado a los New York Yankees. Tiene la nariz chata y ancha y las cejas pobladas. (*N. del t.*)

1. Charles Darwin, *The Descent of Man* (1871), reimpresión de, Penguin, Nueva York, 2004, p. 75 (hay trad. cast.: *El origen del hombre*, Crítica, Barcelona, 2009).

2. James Shreeve, *The Neanderthal Enigma: Solving the Mystery of Human Origins*, William Morrow, Nueva York, 1995, p. 38.

3. Marcellin Boule, *Fossil Men; Elements of Human Palaeontology*, traducción de Jessie Elliot Ritchie y James Ritchie, Oliver and Boyd, Edimburgo, 1923, p. 224.

4. William L. Straus Jr. y A. J. E. Cave, «Pathology and the Posture of Neanderthal Man», *Quarterly Review of Biology*, 32 (1957), pp. 348-363.

5. Ray Solecki, *Shanidar, the First Flower People*, Knopf, 1971, p. 250.

6. Richard E. Green *et al.*, «A Draft Sequence of the Neandertal Genome», *Science*, 328 (2010), pp. 710-722.

* El género *Pongo* comprende los orangutanes, y la familia póngidos de la taxonomía tradicional incluye además a los chimpancés (*Pan*) y los gorilas (*Gorilla*). (*N. del t.*)

7. E. Herrmann *et al.*, «Humans Have Evolved Specialized Skills of Social Cognition: The Cultural Intelligence Hypothesis», *Science*, 317 (2007), pp. 1360-1366.

* Mensa es la más antigua sociedad de personas con cociente intelectual alto. (*N. del t.*)

8. David Reich *et al.*, «Genetic History of an Archaic Hominin Group from Denisova Cave in Siberia», *Nature*, 468 (2010), pp. 1053-1060.

1. Jonathan Schell, *The Fate of the Earth*, Knopf, Nueva York, 1982, p. 21.

2. Carson, *Silent Spring*, p. 296.

3. Michael Benton, «Paleontology and the History of Life», en Michael Ruse y Joseph Travis (eds.), *Evolution: The First Four Billion Years*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass., 2009, p. 84.

4. Richard E. Leakey y Roger Lewin, *The Sixth Extinction: Patterns of Life and the Future of Humankind* (1995), reimpresión de Anchor, Nueva York, 1996, p. 249 (hay trad. cast.: *La sexta extinción: el futuro de la vida y de la humanidad*, Tusquets, Barcelona, 1997).

5. Annalee Newitz, *Scatter, Adapt, and Remember: How Humans Will Survive a Mass Extinction,* Doubleday, Nueva York, 2013, p. 263.


cover